



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TUOMAS HUUKI
TYÖKONEDIESELMOOTTORIN DIAGNOSTIIKKARAJAPINNAN
MÄÄRITTELY

Diplomityö

Tarkastaja: professori Hannu-Matti
Järvinen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty:
9 Elokuuta 2017

TIIVISTELMÄ

Tuomas Huuki: Työkonedieselmoottorin diagnostiikkarajapinnan määrittely
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 59 sivua, 2 liitesivua
Lokakuu 2017
Tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Sulautetut Järjestelmät
Tarkastaja: professori Hannu-Matti Järvinen

Avainsanat: diagnostiikka, työkonedieselmoottori, diagnostiikkaprotokollat

Työkonedieselmoottoreiden jatkuvasti kiristynvä päästölainsäädäntö asettaa moottorin toimilaitteille ja toimintaa mittaaville antureille alati kovenivia vaatimuksia. Antureiden lisääntyessä työkonerympäristöissä on niiden luotettava diagnosoiminen entistä vaativampaa. Lisäksi EU-lainsäädäntö asettaa vaatimuksia sille, miten ja missä muodossa diagnostiikkatieto on jaettava. Diagnostiikkaan liittyvä lainsäädäntö on verrannollisesti uutta, ja siihen on odotettavissa muutoksia tulevaisuudessa. Näin ollen on syytä tarkastaa tätä koskevan lainsäädännön ajankohtaisuus rajapintaratkaisuja tehtäessä.

Rajapintamäärittelyyn vaikuttaa olennaisesti myös erilaiset käyttötilanteet. Rajapinnan tarjoamat palvelut tulee soveltaa sen mukaan, missä käyttötilanteessa diagnostiikkaa suoritetaan. Ei ole siis sama, tarjotaanko diagnostiikkatieto toiselle koneelle, vai jollekin henkilölle. Koneiden tapauksessa protokollavalintaa rajoittavat ne laitteet, joita näissä ympäristöissä jo ennestään on. Henkilöiden tapauksessa rajoitukset tulevat lähinnä käyttötilanteista. On huomioitava, tarvitseeko käyttäjä yksinkertaisen tiedon jonkin anturin tai laitteen toimimattomuudesta, vai täydelliset tiedon myös toimimattomuuteen vaikuttavista tekijöistä. Protokollista yksikään ei täytä jälkimmäistä tarvetta, vaan tällaisessa tapauksessa kyseeseen tulee kahden eri protokollan käyttäminen.

Valmista teollisuuden yleisesti hyväksymää kokonaisratkaisua ei rajapintamäärittelyyn ole olemassa. Jokaisen valmistajan on kyettävä arvioimaan, miten vanhoista rajapinnoista päästään siirtymään sellaisiin uusiin rajapintoihin, jotka täyttävät kovenivat vaatimukset. Tässä työssä esitellään ratkaisu, joka reunaehdot huomioiden, sopii Agco Powerin valmistamiin työkonedieselmoottoreihin.

ABSTRACT

Tuomas Huuki: Defining diagnostic interfaces of an off-road diesel engine.
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 59 pages, 2 Appendix pages
October 2017
Master's Degree Programme in Information Technology
Major: Embedded systems
Examiner: Professor Hannu-Matti Järvinen

Keywords: diagnostics, off-road engines, diagnostic protocols

The continuously tightening emission legislation on off-road diesel engines sets more and more demands for actuators and sensors. While the amount of sensors is increasing in engine environments, reliable diagnosing of these devices is coming more demanding. In addition, EU legislations dictate in what form diagnosis information has to be shared. The legislations regarding diagnostics are relatively new, and frequent changes to it are to be anticipated. Thus, it is worth checking that the referred legislation is up to date when making decisions on what interfaces to use for diagnostic purposes.

Interface definitions are also heavily affected by the different use cases. This means that the interface has to be able to provide different functionality depending on how it is used. Thus, providing diagnostic information to another machine may differ significantly from providing the same information to a human operator. In the case of machine-to-machine communication, the restrictions imposed are related to any legacy equipment that is still used in modern machines. In human communication, the restrictions come mostly from the different use situations. It has to be noted that there is difference in whether simple sensor fault indications are enough, or if the user requires more wide diagnostic information of the system. For the latter case, there is no single protocol that provides this functionality, but a set of protocols must be used for such cases.

There is no industry standard solution for interface definitions. Any manufacturer must assess the most convenient way of moving to more modern protocols that fulfill the new demands. This thesis provides a solution that fulfills this requirement for Agco Power off-road engines, while considering the restrictions imposed by the environment.

ALKUSANAT

Kirjoitin diplomityön ollessani Agco Powerin palveluksessa kehitysinsinöörinä Nokian Linnavuoressa. Työn kirjoittaminen tapahtui alkuvuoden 2017 aikana, ja kokemuksen kentältä, työskennellessäni applikaatioinsinöörinä, tarjosi erinomaisen pohjan tämän työn kirjoitukselle. Rajapintamäärittely tässä laajuudessa on niin monimutkainen, että kokonaiskuvan hahmottaminen saattaa vaatia jonkinlaista kokemusta asiasta ennakoon. Erilaisten käyttötilanteiden hahmottaminen tapahtuu kokemuksen avulla, eikä tutkimuksia aiheesta käytännössä löytynyt.

Standardien ja monikansallisten lakipykäliden viidakko on uskomattoman laaja, eikä asiaa helpota se, että lait ovat tulkinnanvaraisia. Vaikka tulkinta jostain laista olisi moottorivalmistajien mielestä yksiselitteinen, voi tuomioistuin lopullisen päätöksen antaessaan tulkita asiaa toisin. Lisäksi EU-direktiivin muuttuivat tämän työn tekemisen aikana, jolloin osa direktiiveihin liittyvästä tiedosta saattaa olla vanhentunutta. Haastetta aiheutti myös eri standardoijien tyyli kirjoittaa omia standardeja. Joissain tapauksissa heräsi epäily, että standardi oli kirjoitettu vasta toteutuksen jälkeen, koska esimerkiksi kehysten rakennekuvaukset olivat suoraan C-ohjelmointikielestä tuttuja rakenteita.

Edellä mainituista haasteista huolimatta kokonaisuus siirtymiseen vaikuttaa onnistuneelta, mutta vasta kokemukset käytännössä osoittavat uusien rajapintavalintojen onnistumisen.

Esitän kiitokseni nykyiselle työnantajalleni Agco Powerille, joka on antanut minun keskittyä työn tekemiseen täyspäiväisesti. Haluan kiittää työn tarkastajaa Hannu-Matti Järvistä, sekä kehityspäällikkö Ari Konttista tuesta ja ohjauksesta. Lisäksi haluan antaa erikoismaininnan moottoriohjelmiston tiiminvetäjälle Mikko Viinikaiselle, sekä vanhemmalle sovelluskehittäjälle Heikki Suontaustalle, joiden kanssa olemme käyneet useita pitkiä ja mielenkiintoisia keskusteluita aiheeseen liittyen.

Lopuksi haluan kiittää vielä perhettäni jatkuvasta tuesta, ja pientä Elias-poikaani joka on sinnikkäästi jaksanut valvottaa minua yöt pohtiessani tämän työn yksityiskohtia.

Tampereella, 18.10.2017

Tuomas Huuki

tuomas.huuki@agcocorp.com

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	DIAGNOSTIIKAN KEHITYS JA VAATIMUKSET	2
2.1	Työkonemoottorin määritelmä.....	2
2.2	Moottoreiden kehitys.....	2
2.3	Elektroninen ohjausyksikkö	7
2.4	Moottoriohjelmistojen kehitys	8
2.5	Diagnostiikan vaatimukset nykymoottoreissa.....	10
3.	DIAGNOSTISET LAITTEISTORAJAPINNAT	13
3.1	Fyysiset liitännät	14
3.2	Digitaaliset kytkinrajapinnat	14
3.3	Väylärajapinnat	14
3.3.1	RS-232	15
3.3.2	CAN	18
3.3.3	CAN FD	22
3.3.4	Automotive Ethernet	23
3.3.5	Muut yleisesti käytetyt rajapinnat	26
4.	DIAGNOSTIIKKAPROTOKOLLAT	27
4.1	Historialliset protokollat.....	27
4.1.1	KWP2000.....	27
4.1.2	Valmistajakohtaiset rajapinnat.....	29
4.2	Nykyiset rajapinnat	29
4.2.1	J1939	29
4.2.2	ISOBUS	34
5.	DIAGNOSTIIKKARAJAPINNAN SUUNNITTELU	36
5.1	Laitteistomäärittely.....	37
5.2	Lakivaatimukset ja määräykset EU-alueella	38
5.3	Rajapintavaatimukset käyttötapauksittain.....	39
5.3.1	Peruskehitys ja testaus dynamometrillä	39
5.3.2	Prototyyppiajoneuvokehitys.....	40
5.3.3	Tuotannon vaatimukset ja huolto	40
5.3.4	Kolmannet osapuolet.....	40
5.3.5	Ajoneuvon sisäinen kommunikaatio	41
5.4	Tutkitut protokollat	41
5.4.1	UDS.....	41
5.4.2	XCP.....	44
5.5	Rajapintasoveltuvuudet	48
5.5.1	Laitteistorajapinnat.....	49
5.5.2	Ohjelmistorajapinnat ja protokollat	52
6.	YHTEENVETO	54

LÄHTEET	57
LIITE 1: STANDARDIEN KUVAUKSET JA OSAT	60

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1: Päästötasot EU- ja EPA-alueella. [4]</i>	3
<i>Kuva 2: Päästötasot globaalisti. [4]</i>	3
<i>Kuva 3: Sähköinen pysäytyslaite [7]</i>	4
<i>Kuva 4: Agco Power AWF (Tier 4F) -moottorin ohjauselektronikka [8]</i>	5
<i>Kuva 5: Agco Power Tier 4 Final -moottorin jälkikäsittelylaitteisto [8]</i>	6
<i>Kuva 6: Moottoriohjaimen periaatekuva ja signaaliprosessointi [9]</i>	7
<i>Kuva 7: Esimerkki Flash-muistijaosta moottorinohjaimessa</i>	8
<i>Kuva 8: ASAP2-tiedostojen generointi [15]</i>	9
<i>Kuva 9: EEM4-diagnostiikkaohjelmisto.</i>	11
<i>Kuva 10: RS-232-standardin mukainen D9-liitin [25]</i>	16
<i>Kuva 11: RS-232-jännitetasot [26]</i>	17
<i>Kuva 12: Väylätologia</i>	20
<i>Kuva 13: CAN-kehysformaattit [41]</i>	20
<i>Kuva 14: CAN FD -kehysten ajoitus. [42]</i>	22
<i>Kuva 15: EMC-mittaukset automotive-ethernetillä [30]</i>	23
<i>Kuva 16: Käytetyt Ethernet-kehystyypit</i>	25
<i>Kuva 17: J1939-standardit OSI-mallin mukaan [34]</i>	29
<i>Kuva 18: Parametriryhmämäärittely (EEC1) [35]</i>	30
<i>Kuva 19: Parametrinumeromäärittely (Moottorin nopeus) [35]</i>	31
<i>Kuva 20: SAE J1939-kehysformaattit [35]</i>	31
<i>Kuva 21: J1939-siirtoprotokollatyypit ja sekvenssi [34]</i>	32
<i>Kuva 22: Suhde ISO 15765- ja J1939-kehysten välillä. [14, 35]</i>	34
<i>Kuva 23: Agco Power Stage 4 Final -moottorin väylätologia [37]</i>	37
<i>Kuva 24: UDS-kehystyypit</i>	43
<i>Kuva 25: XCP-kehysformaatti [40]</i>	45
<i>Kuva 26: XCP-pakettien nimet ja suunnat. [39]</i>	46
<i>Kuva 27: ODT-taulukkojen kartoittaminen DAQ-viesteihin. [39]</i>	47
<i>Kuva 28: Ohjelmointi WinEEM4-työkalulla.</i>	51

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AD	Analog to Digital, muunnos analogisesta digitaaliseksi.
ASAP2	ASAM ECU Measurement and Calibration Data Exchange Format, tiedostoformaatti moottorihjaimen mittausten ja datan kalibrointiin.
ASAM	Association for Standardisation of Automation and Measuring Systems, Automaation ja mittausjärjestelmien standardisointiin keskittynyt yhdistys.
ASCII	American Standard Code for Information Exchange, standardi merkkien esittämiseksi tietokoneissa.
CAN	Controller Area Network, ajoneuvojen sisäinen sarjaliikenneväylä.
CAN FD	Controller Area Network Flexible Datarate, perinteisen CAN-väylän kehittyneempi ja nopeampi versio.
CARB	California Air Resources Board, Kalifornian osavaltion organisaatio, joka vastaa päästösääntelystä.
CCP	Can Calibration Protocol, CAN-väylän yli toimiva kalibrointiprotokolla.
DID	Diagnostic Identifier, diagnostinen tunniste.
DP	Data Page, datasivu.
DTC	Diagnostic Trouble Code, vikakoodi.
ECU	Electronic Control Unit, sähköinen moottorinohjain.
EDP	Extended Data Page, Laajennettu Datasivu
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. sähköisesti pyyhittävä, ohjelmoitava vain-luku muisti.
EMC	Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus.
FM	Frequency Modulation, taajuusmodulaatio.
ID	Identifier, tunniste.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen elektroniikkainsinöörien järjestö.

IP	Internet Protocol, Internetissä käytetty protokolla.
ISO	International Standardisation Organisation, kansainvälinen standardisointi-organisaatio.
J1939	SAE:n määrittelemä protokolla ajoneuvon sisäistä kommunikaatiota varten.
KWP2000	Keyword Protocoll, ISO-standardin määrittelemä diagnostiikkaprotokolla.
LID	Local Identifier, paikallinen tunniste.
LIN	Local Interconnect Network, eräs henkilöajoneuvoissa käytettävä sarjalii-kenneväylä.
MAC	Media Access Control address, verkkolaitteen yksilöivä osoite.
MOST	Media Oriented Systems Transport, nopea, median siirtoon tarkoitettu ajoneuvoväylä.
NRZ	Non Return to Zero, väyläkoodaus jossa väylällä ei ole määritettyä lepotilaa.
OBD	On Board Diagnostics, ajoneuvon sisäinen diagnostiikka.
ODT	Object Database Table, XCP -objektitaulukko.
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model, referenssimalli tiedonsiirtoprotokollien kuvaukseen.
PAM	Pulse Amplitude Modulation, pulssi-amplitudimodulaatio.
PDU	Payload Data Unit, J1939 datayksikkö.
PF	PDU Format, J1939 –datayksikön yleinen muoto.
PS	PDU Specific, J1939 –datayksikön spesifinen muoto.
PGN	Parameter Group Number, parametriryhmänumero.
RAM	Random access memory, luku- ja kirjoitusmuisti.
RMI	Repair and Maintenance Information, korjaus- ja huoltotieto.
SA	Source Address, lähdeosoite.

SAE	Society of Automotive Engineers, yhdysvaltalainen autoalan standardisointijärjestö.
SID	Service Identifier, palvelun tunniste.
STIM	Stimulation, heräte.
STP	Single Twisted Pair, yhden kierretyn parin kaapeli.
TECU	Tractor ECU, traktori ECU.
UDS	Unified Diagnostic Services, ISO-standardin määrittelemä diagnostiikka-protokolla.
USB	Universal Serial Bus, tietokoneissa käytetty nopea sarjaväylä.
VLAN	Virtual Local Area Network, virtuaalinen lähiverkko.
VT	Virtual Terminal, ISOBUS-määrityksen mukainen päätelaite.
XCP	X Calibration Protocol, CCP:n laajennettu versio, jossa X viittaa väyläriippumattomuuteen.

1. JOHDANTO

Dieselmootoreiden kehitys on pitkään jatkunut lakivaatimusten vauhdittamana. Jatkuva päästötasojen kiristäminen asettaa uusia vaatimuksia moottoreiden ohjauselektronikalle, ja pienenevät päästörajat vaativat uusia tarkempia mittauksia ja antureita. Järjestelmän monimutkaistuessa diagnostiikan toimivuus on entistäkin tärkeämpää. Hyvin toteutettu ja oikein kalibroitu diagnostiikka takaa, että vikatilanteessa vika voidaan paikallistaa yhteen komponenttiin. Päästöasovaatimusten lisäksi, uutena lakivaatimuksena on tullut diagnostiikkaa ja vianhakuohjeistusta koskevat lainsäädännöt. Tämän säädännön mukaan työkonvalmistaja on velvollinen tarjoamaan kaikki diagnostiikka- ja vianhaketiedot kolmansille osapuolille, kohtuullista korvausta vastaan. Toisin sanoen, kolmannen osapuolen huoltoliikkeiden tulee voida hankkia vaadittava huoltotieto, riippumatta koneen merkistä tai mallista. Ongelmalliseksi tilanteen tekee se, että vaatimus koskee myös nykyisin tuotannossa olevia malleja.

Tämä työ määrittelee sellaisen diagnostisen rajapinnan nykyaikaiselle työkonedieselmoottorille, joka täyttää tehdyn selvityksen tuloksena löydetty reunaehdot. Kokonaiskuvan luomiseksi työssä tutustutaan diagnostiikan historiallisiin rajapintoihin, siten kuin ne Agco Powerin valmistamien työkonedieselien mukana ovat kehittyneet ensimmäisestä sähköisesti ohjatusta moottorista alkaen. Lisäksi määritellään ne reunaehdot, jotka diagnostisen rajapinnan on tämän moottorin ja sen toimintaympäristön tapauksessa toteutettava. Lopuksi määritellään uudet fyysiset ja sähköiset rajapinnat moottorin eri käyttötilanteiden mukaan. Työ ei ota kantaa siihen, miten diagnostiikkainformaatio esitetään käyttäjälle, vaan rajapintamäärittely koskee lähinnä moottorin, ajoneuvon ja huoltotyökalun välistä kommunikointia.

Työn ensimmäinen luku käsittelee diagnostiikan kehitystä ja kiristyviä vaatimuksia, joita nykyinen ohjauselektronikka sille asettaa. Toisessa luvussa käydään läpi ne rajapinnat jotka ovat olleet käytössä aikaisemmissa Agco Powerin moottorinohjaimissa, mutta myös sellaiset aikaisemman sukupolven rajapinnat, jotka ovat edelleen yleisessä käytössä. Luvussa esitellään myös uudet, vielä tulossa olevat rajapinnat lyhyesti. Sellaiset rajapinnat jotka koskevat lähinnä henkilöautoteollisuutta, on jätetty tämän työn ulkopuolelle. Neljäs luku esittelee sellaiset ohjelmistorajapinnat ja protokollat jotka ovat käytössä nykyisen sukupolven työkoneissa ja työkonemootoreissa. Viidennessä luvussa määritellään ensin ne reunaehdot joilla uudet diagnostiikkarajapinnat pitää tässä tapauksessa valita. Näihin vaikuttavat muun muassa käyttötilanteet, mutta myös ne rajat joita lainsäädäntö diagnostiikalle asettaa. Luvun toinen osa käsittelee sellaisia protokollia, jotka tutkimuksessa todettiin sopiviksi näihin reunaehtoihin. Viimeinen luku antaa yleiskuvan tehdyistä valinnoista.

2. DIAGNOSTIIKAN KEHITYS JA VAATIMUKSET

Nykyaikaisen dieselmoottorin monimutkaiset sähköiset ohjaus-, anturi- ja toimilaitteet asettavat entistä enemmän vaatimuksia diagnostiikalle ja sen toimivuudelle. Vika ja virhetilanteet on kyettävä tunnistamaan yksiselitteisesti, ja diagnostiikkatieto on välitettävä loppukäyttäjälle riittävän yksinkertaisesti vikaantuneen osan paikallistamisen helpottamiseksi. Asiaa on siis pohdittava sekä järjestelmän että loppukäyttäjän näkökulmasta. [1]

Dieselmoottorin käyttökohde määrittelee olennaisesti diagnostiikan toimintaa. Kriittisissä sovelluksissa moottorin on kyettävä jollakin tavalla korjaamaan itsenäisesti tapahtunutta virhetilannetta, kun taas vähemmän kriittisissä sovelluksissa pelkkä virheilmoitus käyttäjälle voi olla riittävä toimenpide.

2.1 Työkonemoottorin määritelmä

Koska tämän työn aiheen ovat spesifisesti tietyn tyyppiset dieselmoottorit, on määritelmän oltava selkeä. Päästönormeihin liittyvä Euroopan unionin asetus määrittelee työkooneen seuraavasti:

”Tässä asetuksessa tarkoitetaan: ’liikkuvilla työkoneilla’ kaikkia korilla varustettuja tai korittomia, pyörällisiä tai pyörättömiä liikkuvia koneita, siirrettäviä laitteita tai ajoneuvoja, joita ei ole tarkoitettu matkustajien tai tavaroiden kuljetukseen tieliikenteessä, myös sellaisten ajoneuvojen alustaan asennettuja koneita, jotka on tarkoitettu matkustajien tai tavaroiden kuljetukseen tieliikenteessä;”[2]

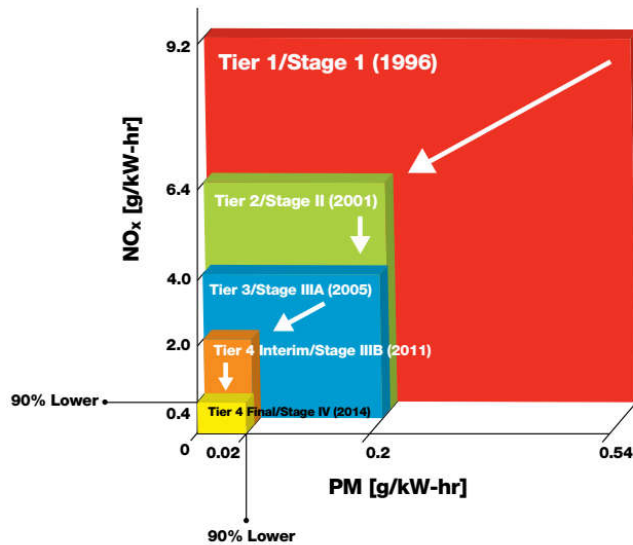
Tämän määritelmän ulkopuolelle jäävät siis henkilöautot ja muut vastaavat hyötyajoneuvot, jotka noudattavat niille määrättyä omaa lainsäädäntöä. Vaikka monet määritelmät ja rajapinnat pätevät myös näihin moottoreihin, tässä työssä keskitytään vain rajapintamäärittelyyn työkonedieselmoottorin tapauksessa.

2.2 Moottoreiden kehitys

Dieselmoottoreiden kehityksen pääasiallinen vauhdittaja on viime vuosina ollut jatkuvasti kiristytvä päästölainsäädäntö. Käytäntö on koskenut sekä henkilö- ja hyötyautovalmistajia että valmistajia, jotka toimittavat moottoreita työkoneisiin ja teollisiin sovelluksiin. Päästötasojen kiristytminen on johtanut uuden teknologian käyttöönottoon moottorisovelluksissa, sillä vaadittuja tasoja ei ole enää voitu saavuttaa vain palamistapahumaa ja perusmoottoria muokkaamalla. Näihin teknologioihin kuuluvat uuden tyyppi-

set ahtimet, pakokaasujen takaisinkiertäytysjärjestelmät sekä pakokaasujen jälkikäsittely-laitteistot. [3] Kuva 2 esittää, kuinka nopea päästölainsäädännön kiristymistahti on ollut,

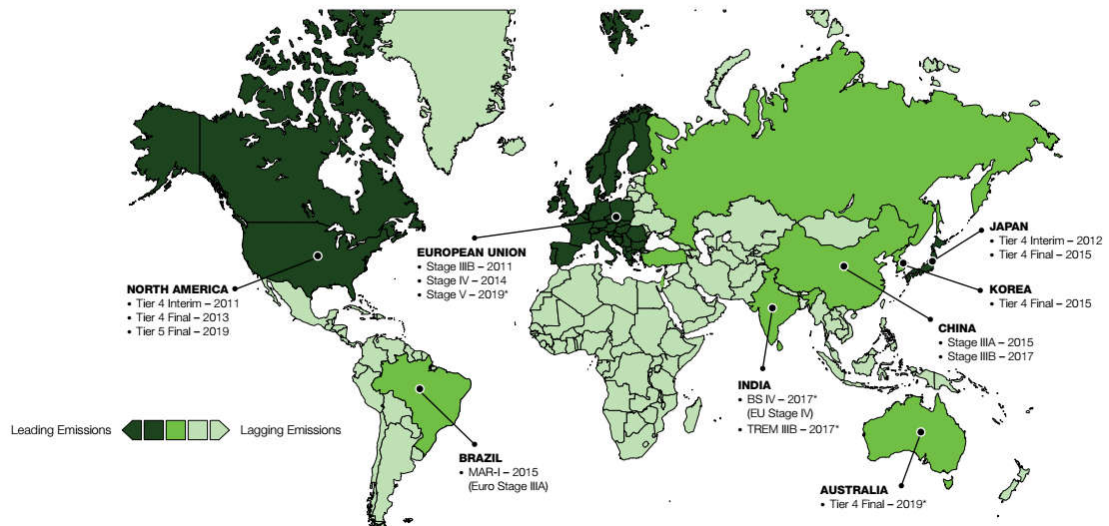
Off-Highway Emissions Evolution.



Kuva 1: Päästötasot EU- ja EPA-alueella. [4]

vät välttämättä ole samat Yhdysvalloissa. Tämä tarkoittaa sitä, että valmistajat joutuvat joko pitämään tuotannossa useaa kokonaan erillistä moottoriperhettä, tai muokkaamaan uusimpia malleja niin, että ne soveltuvat käytettäväksi myös vähemmän säädeltyjen päästötasojen maissa. Kuva 2 esittää säädännän hajanaisuuden sekä standardillisesti, että maakohtaisesti. Euroopan alueella päästötasoista on käytössä nimitys "Stage X" kun taas Pohjois-Amerikassa käytetään periaatteellisesti samoista asioista "Tier X" termiä.

Global Emissions Regulations.



Kuva 2: Päästötasot globaalisti. [4]

Ongelmallisen tilanteesta tekee se, että päästötasojen numeroinnit tai nimeämiset eivät ole yhtenäisiä. On siis poikkeuksetta viitattava kyseisen maan lainsäädäntöön, kun eri alueiden päästövaatimustasoja halutaan verrata, sillä nimitysten perusteella on mahdo-

ja minkälaisia rajoituksia se on asettanut prosentuaalisesti dieselmoottoreiden emissioihin.

Uusien teknologioiden lisäksi asiaa monimutkaistaa se, että useisiin eri maanosiin toimittavat moottorivalmistajat joutuvat ottamaan huomioon eri päästötasojen käyttöönoton maasakohtaisesti. Lisäksi eri maanosien päästölainsäädännöt eivät usein perustu samoihin standardeihin. Toisin sanoen Euroopassa käytetyt raja-arvot tietyn päästötason saavuttamiseksi ei-

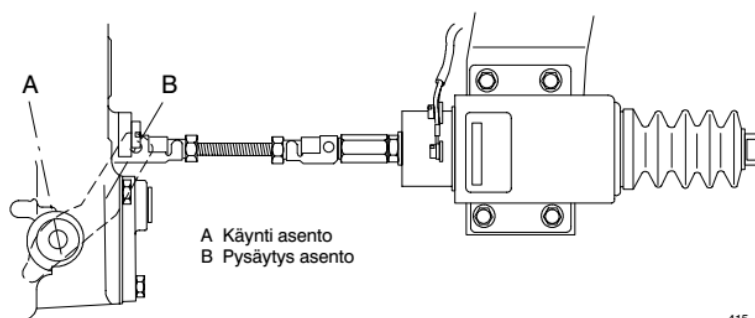
tonta sanoa mitkä päästötasot vastaavat toisiaan. Esimerkkinä vuoden 2011 määräykset. Euroopassa noudatettiin Stage 3B -vaatimuksia, kun taas Pohjois-Amerikka noudatti periaatteellisesti saman tason Tier 4 Interim -vaatimuksia. [4]

Toinen kehitystä vauhdittava näkökulma on jatkuva hyötysuhteen parantaminen ja vaatimukset paremmasta hyötysuhteesta. Työkoneissa hyötysuhdetta mitataan tarkastelemalla käytettyä polttoaineen määrää tehtyä työtä kohden. Tästä käytetään termiä Specific Fuel Consumption, eli SFC. Hyötysuhteen parantaminen ahtimen avulla on yleisimmin käytetty metodi, ja lähes kaikki nykyaikaiset dieselmoottorit ovatkin ahdettuja. Ahtamisella ilma pakotetaan sylinteriin joko mekaanisen-, tai pakokaasuahtimen avulla. Tämä lisää moottorin volumetrasta hyötysuhdetta, ja näin ollen parantaa kokonaishyötysuhdetta. Pakokaasujen takaisinkierätyjärjestelmää voidaan myös käyttää parantamaan moottorin hyötysuhdetta ja alentamaan päästöjä. [5]

Tuotekehitysjohtajan kanssa käyty keskustelu vahvistaa yllä olevat arviot oikeiksi myös työkonemoottorikehityksessä. Agco Powerin moottorituotekehityksen kustannuksista keskimäärin puolet liittyy suoraan emissiolainsäädännön muutoksiin ja vaatimuksiin. Toinen puoli kustannuksista käytetään uusien ja nykyisten moottoriperheiden ylläpitoon ja kehitykseen. [6]

Moottorin tarkemman ohjauksen tarve on aiheuttanut sähköisten komponenttien määrän räjähdysmäisen kasvun moottoriympäristöissä. Jälkikäsittelylaitteisto muodostaa myös kokonaisuuden, jota tulee voida valvoa ja diagnosoida itsenäisesti.

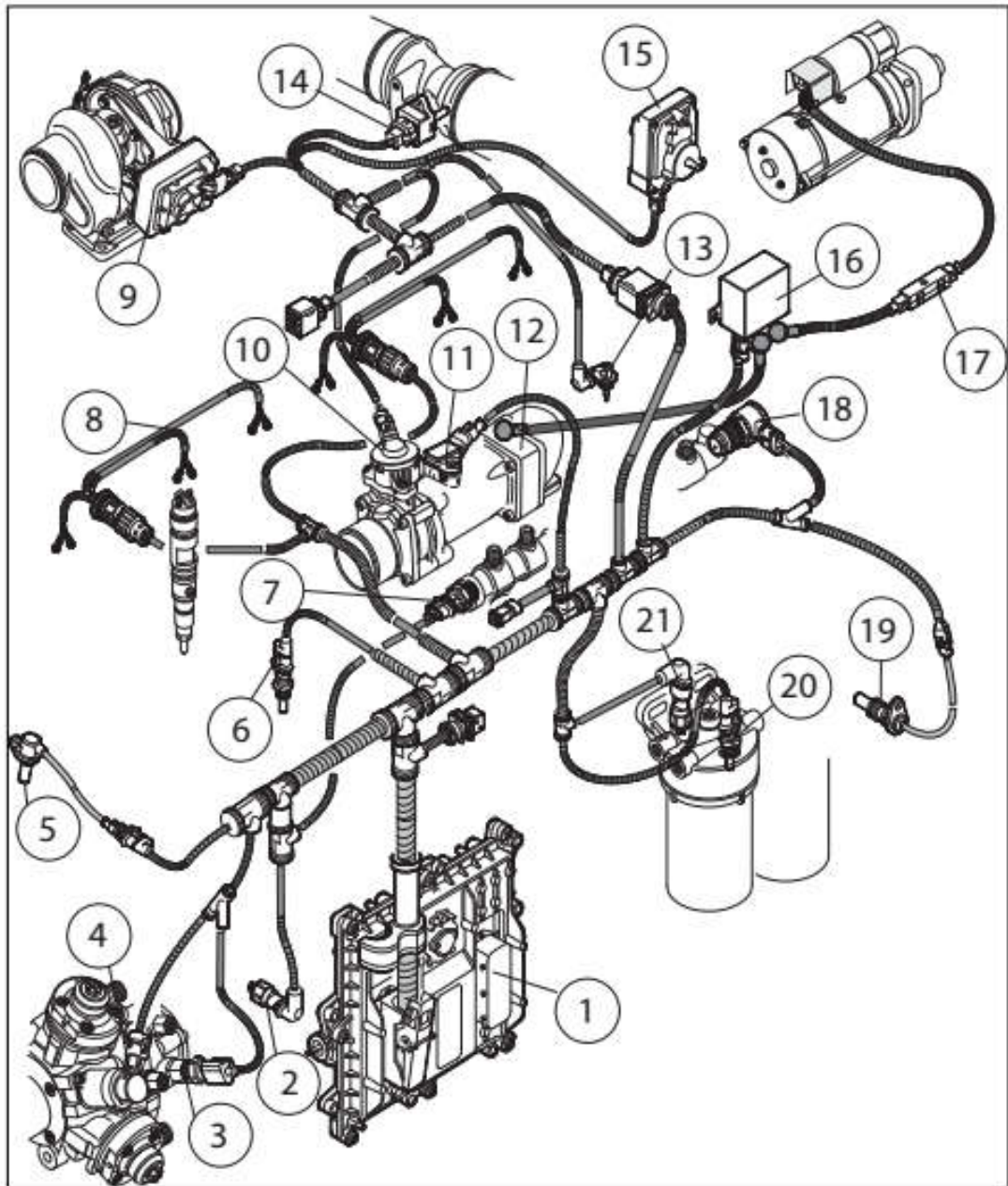
Kehityksen nopeutta voidaan helposti kuvata Agco Powerin moottoreiden avulla. 2002 valmistetussa Sisu Diesel (nyk. Agco Power) 645 -moottorissa, ainoa sähköinen komponentti, käynnistimen ja laturin lisäksi, saattoi olla sähkötoiminen sammutusrele. Sen ainoana tehtävänä oli polttoainesyötön katkaiseminen herätevirran sammuttua. Tällaisen yksinkertaisen solenoidin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3. Laite siis korvaa perin-



teisen työkoneissa käytetyn sammutusvaijerin, jonka tehtävänä on liikuttaa ruiskutuspumpussa olevaa pysäytinvipua. [7]

Kuva 3: Sähköinen pysäytyslaite [7]

Vertauksena edelliseen on vuonna 2015 markkinoille tullut vastaava Agco Power 60AWF -moottori, joka täyttää Tier4 Final -päästönormit. Sähköjärjestelmä sisältää

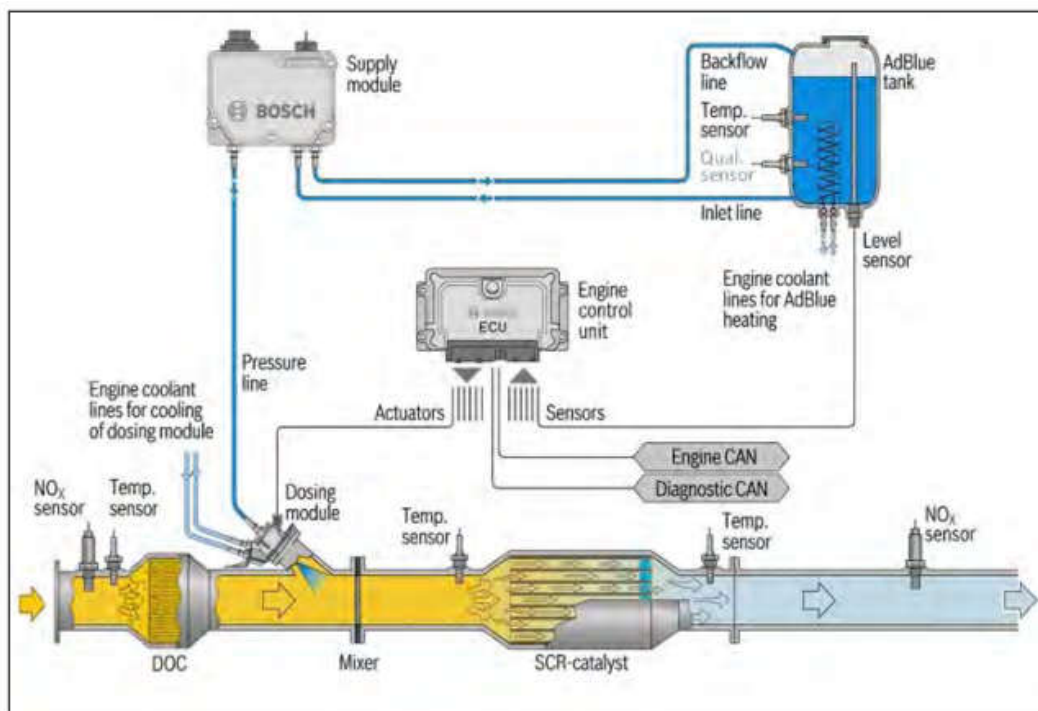


Kuva 4: Agco Power AWF (Tier 4F) -moottorin ohjauselektroniikka [8]

useita eri antureita ja toimilaitteita. Lisäksi moottorin ohjaus tapahtuu täysin sähköisesti elektronisen moottoriohjauslaitteen eli ECU:n (Electronic Control Unit) avulla. Ohjausjärjestelmä sisältää vähintään jonkinlaisen elektronisen ohjainlaitteen ja useita siihen liittyviä antureita ja toimilaitteita. Kuva 4 esittää Agco Power AWF moottorin elektronikan eri komponentit:

1. elektroninen ohjausyksikkö
2. öljynpaineanturi

3. polttoaineenpaineanturi
4. virtaussäädin
5. kampiakselin nopeusanturi
6. jäähdytysnesteen lämpöanturi
7. rail-paineanturi
8. suutinjohdotus
9. hukkaportin aktuaattori
10. imuilman säätöläppä
11. ahtopaineanturi
12. imuilman lämmitin
13. imuilman lämpötila-anturi
14. ilmamassamittari
15. EGR-aktuaattori
16. imuilman lämmittimen rele
17. imuilman lämmittimen sulake
18. rail-paineventtiili
19. nokka-akselin nopeusanturi
20. polttoaineen lämpötila-anturi
21. polttoaineen esipaineanturi.



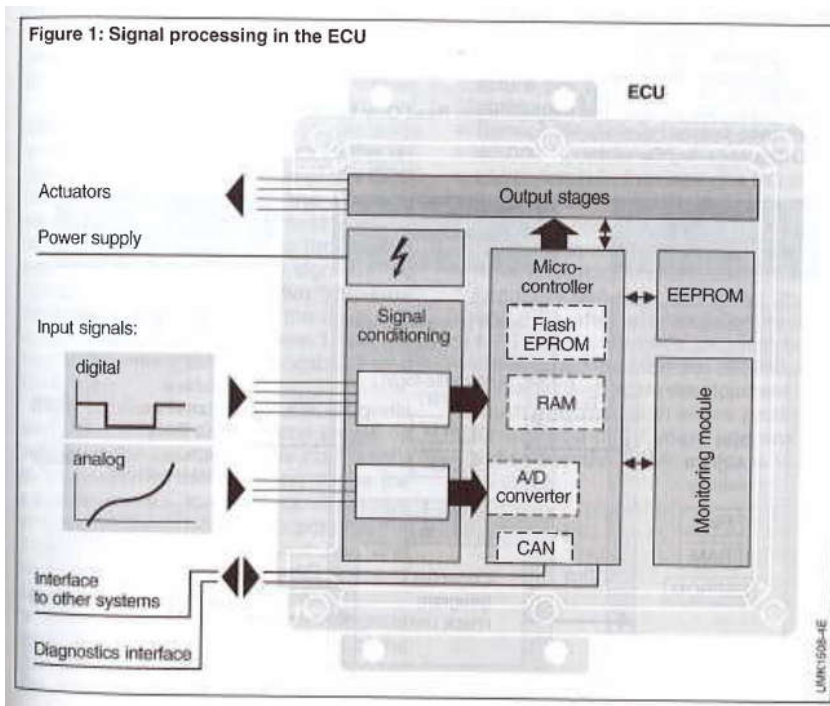
Kuva 5: Agco Power Tier 4 Final -moottorin jälkikäsittelylaitteisto [8]

Lisäksi Kuva 5:n esittämä Tier 4 Final -vaatimusten mukainen pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmä voidaan ajatella omalla järjestelmällään, joka sisältää useita eri antureita ja joissakin tapauksissa oman ohjauselektroniikkansa. Kuvassa 5 näkyvä järjestelmä perustuu selektiiviseen katalyyttiseen reaktioon urean avulla. Alimpana kuvassa on pako-

linjasto, jota valvotaan erilaisilla antureilla. Ylhäällä oikealla on ureasäiliö pinnankorkeusvalvonnalla ja vasemmalla pumppumoduuli joka syöttää nesteen pakolinjastoon. Jälkikäsitteilylaitteiston toiminta ja siihen liittyvät prosessit ovat erittäin monimutkaisia ja jäävät siten tämän aihealueen ulkopuolelle, lukuun ottamatta niitä osia, jotka ovat kriittisiä diagnostiikkajärjestelmän toiminnan ymmärtämiselle. Nykyisissä työkonemootoreissa jälkikäsitteilylaitteiston ohjauselektronikka on yleensä integroitu moottorin ohjaimeen ja sijaitsee kuvassa 5 keskellä. [8]

2.3 Elektroninen ohjausyksikkö

Nykymoottorin keskeisin komponentti on elektroninen moottorinohjausyksikkö. Ohjausyksikkö huolehtii moottorin ohjaamisesta, polttoaineen ruiskutuksen ajoituksesta ja monista muista moottorin toimintaan liittyvästä kriittisestä funktiosta. Moottoriohjain sisältää myös tarvittavan ohjelmiston signaalien prosessointiin. Kuva 6 esittää moottoriohjaimen periaate-



Kuva 6: Moottoriohjaimen periaatekuva ja signaaliprosessointi [9]

kiksi kytkintietoja, tai analogisia (analog) anturitietoja. Liityntä muihin järjestelmiin tarjotaan valmistajasta riippuen jollakin määritellyllä väylällä. Usein samaa väylää käytetään myös diagnostiikkarajapintana käyttäjälle. [9, 10]

Moottoriohjaimen ytimenä on mikrokontrolleri, joka prosessoi tarvittavat signaalit ja tekee parametrisoitujen mallien perusteella tarpeelliset toimilaitteohjaukset. Myös mikrokontrollerit ovat kehittyneet sisältämään useita eri toiminnallisuuksia nimenomaan ajoneuvokäyttöä ajatellen. Itse asiassa nykyaikainen moottoriohjain sisältääkin usein pro-

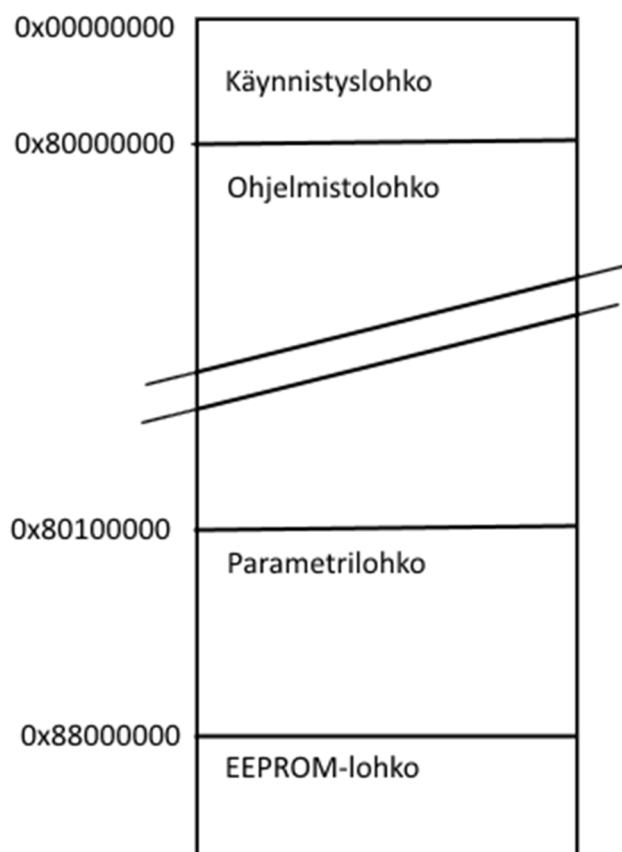
riohjaimen periaatekuvan, sen sisäisen signaaliprosessoinnin periaatteen ja ulkoisesti liittyvät väylät ja liitynnät. Järjestelmän toimielimiä kuvaavat toimilaitteet (actuators), jotka muuttavat jonkin signaalin mekaaniseksi liikkeeksi. Järjestelmä sisältää myös virransyötön ja suodatuksen (power supply). Sisääntulosignaalit (input signals) voivat olla joko digitaalisia (digital), esimer-

sensorin, mikrokontrollerin ja spesifiseen laskentaan tarkoitetun digitaalisen signaali-prosessorin yhdessä ja samassa kotelossa. [11]

Käytännössä kaikki ohjainlaitteen komponentit poikkeavat kuluttajalaitteista, sillä ajoneuvoteollisuus asettaa niille kovempia vaatimuksia. Komponenttien tulee toimia olosuhteissa, joissa lämpötila- ja kosteusvaihtelut ovat suuria. Saatavuuden on myös oltava pidempi kuin normaalin elektroniikkakomponentin kehityskaaren tulee olla. Matkapuhelinvalmistajat tuovat markkinoille uuden kontrollerin 1-3 vuoden välein, mutta ajoneuvoteollisuudessa pelkkä kehityskaari on 3-5 vuotta. [9]

2.4 Moottoriohjelmistojen kehitys

Sähköisten toimilaitteiden, toiminnallisuuksien ja antureiden lisääntyminen asettaa tiettyjä vaatimuksia myös moottoriohjelmistoille. Ohjelmiston on kyettävä mukautumaan käyttötarpeen mukaan erilaisiin käyttötilanteisiin, mutta kehityskaaren on oltava hallittavissa siten, että samaa ohjelmistoa voidaan käyttää useissa eri kokoonpanoissa. Jos jokaiselle kokoonpanolle ja muutokselle olisi oma ohjelmistokäännös, olisi ensinnäkin versionhallinta hyvin monimutkainen ylläpitää, mutta kehityssykli pienissä muutoksissa



liian pitkä. Tästä syystä nykyisissä moottoriohjelmistoissa on parametrisoitavissa oleva malli fyysisestä moottorista. Toisin sanoen tietty moottoriohjainperhe käyttää samaa perusohjelmistoa eli ohjelmistokäännöstä, mutta sen toiminta on muokattavissa parametreilla, jotka ovat muutettavissa tähän tarkoitukseen tehdyllä työkaluohjelmistolla. Parametrit ovat käytännössä vain tietty muistialue ohjaimen Flash-muistissa.

Kuva 7 esittää mahdollisen Flash-muistin jakamisen eri lohkoihin tavalla, jolla se olisi mahdollista moottoriohjaimessa tehdä. Muistin alku sisältää käynnistysvektorin ja siihen liittyvän ohjelmistoon joka suoritetaan ohjaimen käynnistyessä.

Ohjelmistolohko sisältää itse

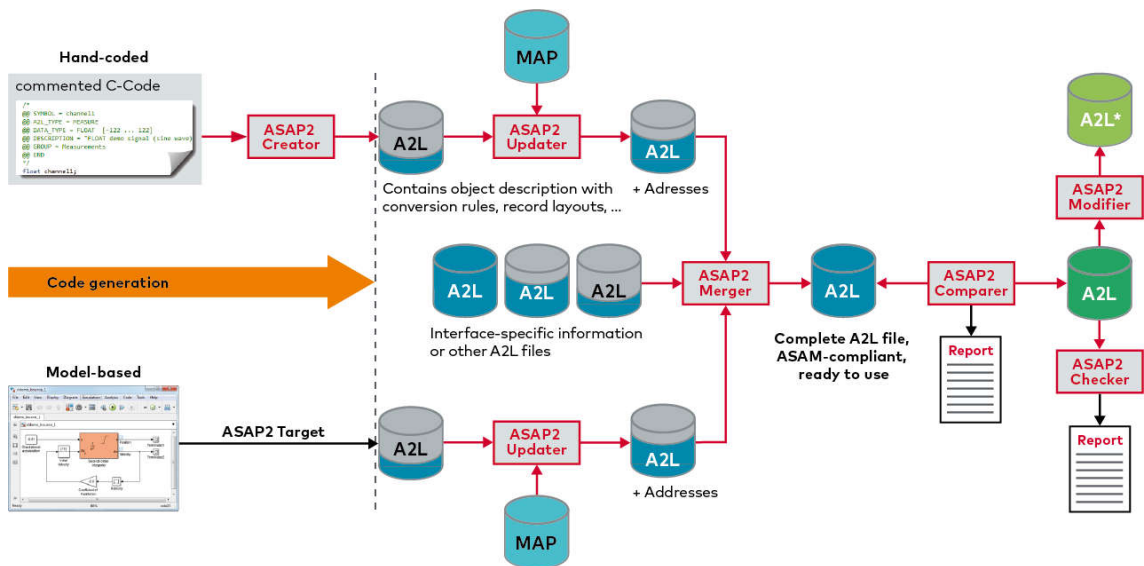
moottoriohjelmiston ja parametrilohko käyttäjän muokattavissa olevat parametrit. Li-

Kuva 7: Esimerkki Flash-muistijaosta moottoriohjaimessa

säksi ohjaimissa on yleensä jonkinlainen erillinen tavuittain kirjoitettava EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) lohko historiallisista syistä. Tarkka muistijako on kuitenkin täysin valmistajakohtainen ja yleensä hyvin varjeltu liikesalaisuus.

Työkaluohjelmiston käyttöliittymä on suunniteltu siten, että sillä voidaan muokata vain tiettyä osaa moottoriohjaimen parametrialueesta. Parametrialueen muokkaamista soveltuvaan tiettyyn kokoonpanoon sanotaan moottoriohjelmiston kalibroinniksi. Kalibroinnilla jonkin parametrin arvo asetetaan vastaamaan haluttua arvoa tai suuretta. Esimerkiksi AD (Analog to Digital) -mittauksessa saatu jännitearvo kalibroidaan näin vastaamaan jotain tiettyä lämpötila-arvoa. [12]

Parametrialueen lisäksi moottorin toimintoja voidaan tarkastella mittakanavien avulla. Mittakanavat ovat ennalta määrittyjä muistipaikkoja moottoriohjaimen muistissa, jotka sisältävät jonkin mitatun arvon. Esimerkkinä tästä voi olla moottorin lämpötila. Lämpötilan ollessa tietyssä muistipaikassa ohjaimen RAM (luku- ja kirjoitusmuisti) -muistissa, voidaan se lukea diagnostiikkatyökalun avulla ja näyttää käyttäjälle. Lisäksi tämä tieto voidaan lähettää väylälle muiden laitteiden luettavaksi protokollariippuvaisessa muodossa. [10, 13, 14]



Kuva 8: ASAP2-tiedostojen generointi [15]

Parametrien ja mittakanavien muistisijainnit välitetään ohjelmistoille ja käyttäjille josakin standardoidussa formaatissa. Yleisimmin ajoneuvoteollisuuden käyttämä formaatti on ASAP2-standardi, joka määrittelee tekstimuotoisen esitystavan kaikille moottoriohjaimen muistissa oleville parametreille ja mittakanaville. ASAP2-standardi määrittelee tiedostoformaatin, jonka pääte on .a2l. Tämä tiedosto generoidaan automaattisesti moottoriohjelmistosta joko mallin tai lähdekoodin perusteella, kuten kuva 8 esittää. Tähän tarkoitukseen on olemassa useita valmistajakohtaisia työkaluja, mutta niiden toimintaperiaate on usein samanlainen. [15, 16]

2.5 Diagnostiikan vaatimukset nykymoottoreissa

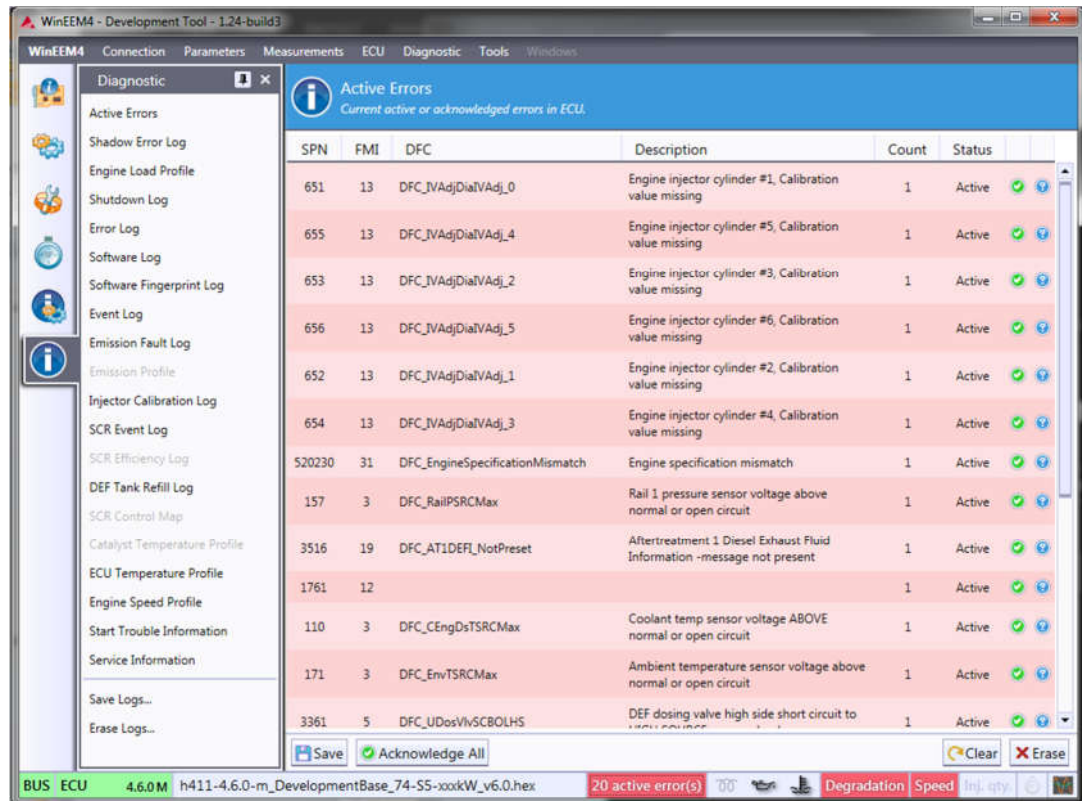
Diagnostiikan peruserä on säilynyt samanlaisena moottoreiden kehittyessä. Moottorin toimiessa normaalisti ohjainyksikkö tarkkailee järjestelmän eri osia ja tekee anturitietojen ja järjestelmän sisäisen tilan pohjalta diagnostisia päätelmiä. Vikatilanteessa tiedot viasta tallennetaan ohjainlaitteen sisäiseen muistiin ja riippuen tilanteesta näytetään vikatietona jotenkin käyttäjälle. Alun perin ajateltiin, että diagnostiikkajärjestelmä voisi olla vain helpottava tekijä moottorin ja ihmisen välillä, mutta järjestelmien monimutkaistessa myös sisäiset järjestelmät voivat diagnostiikan avulla parantaa järjestelmän toimintaa vikatilanteessa. [5, 9]

Nyky aikaisten työkonedieselmoottoreiden ohjelmistoihin liittyy läheisesti myös niiden päivitettävyys, ja niinpä diagnostiikkaprotokollien ominaisuuksiin kuuluu myös itse ohjainlaitteen ohjelmointi. Vaikka ohjelmointi sinänsä ei ole osa itse diagnostiikkaa, voi se tarjota ratkaisun jonkin havaitun virhetilanteen korjaamiseksi, päivitetyn ohjelmiston muodossa. Näin ollen moottoriohjaimen ohjelmointi voi tässä mielessä olla osa diagnostista prosessia. [9]

Diagnosointitapaukset voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan käyttötarkoituksen mukaan:

1. Ohjainlaitteen sisäinen diagnostiikka: Kun moottoriohjain havaitsee virheen, toteuttaa se tiettyjä toimenpiteitä sisäisesti virheen korjaamiseksi. Tällaisia toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi moottoritehon rajoittaminen jäähdytysveden lämpötila-anturin rikkoontuessa. Tarkka toiminta tällaisessa tilanteessa on täysin moottori- ja valmistajakohtainen, eikä standardimenettelyä ole olemassa.
2. Ajoneuvon sisäinen diagnostiikka: Kuten kohta 1, mutta tieto viasta välitetään moottoriohjaimen ulkopuolelle esimerkiksi CAN (Controller Area Network) -väylän avulla käyttäen protokollaa jota, muut ohjainlaitteet ymmärtävät.
3. Käyttäjälle näytettävä diagnostiikka: Kuten kohta 1, mutta tieto viasta välitetään ajoneuvon ulkopuolelle esimerkiksi CAN-väylää käyttämällä. Tämä eroaa kohdasta 2 siten, että tieto on jotenkin muutettava ihmisluettavaan muotoon siihen suunnitellulla työkalulla.

Diagnoosityökalu on usein valmistajakohtainen. Henkilö ja hyötyajoneuvoissa, OBD (On Board Diagnostics) -vaatimukset asettavat reunaehdot liittimille ja protokollille, mutta työkaluissa näin ei ole. Sama koskee diagnostiikkatyökaluja. Perusdiagnostiikkaan henkilöautoissa käy standardin määrittelemä työkalu, mutta työkaluissa on poikkeuksia oltava valmistajan määrittelemä liitin, väylä ja protokolla käytössä. Kuvassa 9 on esimerkki tällaisesta työkalusta. Kuvassa on valittuna diagnostiikkasivu ja näin ollen valmistajan määrittelemät diagnostiikkavikakoodit.



Kuva 9: EEM4-diagnostiikkaohjelmisto.

Yhä kiristyvät päästövaatimukset ja jatkuva hyötysuhteen parantaminen asettavat tiukoja vaatimuksia myös moottorien diagnostiikkajärjestelmille [17]. Kuten moottorin laitteistossa, myös diagnostiikassa joudutaan ottamaan huomioon eri päästötasojen aiheuttamat muutokset. Laitteistokokoonpanon muuttuessa myös diagnostiikkaohjelmistojen on kyettävä muuttumaan vastaamaan valittua kokoonpanoa.

Esimerkkinä voidaan käyttää Tier4-tason päästönormit täyttävää moottoria. Tällainen moottori sisältää pakokaasujen jälkikäsittelylaitteiston ja siihen liittyvät anturit ja anturidiagnostiikan. Samaa perusmoottoria jälkikäsittelyä lukuun ottamatta voidaan käyttää maissa, joiden päästövaatimukset ovat matalampia. Tällöin moottorin diagnostiikan tulee sopeutua tilanteeseen, jossa peruskokoonpano perusmoottorin osalta on sama, mutta tietty ulkoinen osa, tässä tapauksessa jälkikäsittelylaitteisto, puuttuu. Jos diagnostiikkaa ei muutettaisi, antaisi se virheilmoituksen antureiden puutteesta ja siis virheellisen ilmoituksen. Näin ollen sekä moottoriohjelmiston että diagnostiikkaohjelmiston on voitava tunnistaa tietyn moottorin laitteistokokoonpano. Moottoriohjelmiston suhteen muutos voidaan toteuttaa parametrimäärittelyä jossa ohjelmiston jokin sisäinen parametri tai parametrikokoelma määrittelee, minkälainen laitteisto on kyseessä. Diagnostiikkaohjelmistot voivat taas muuttaa käyttöliittymäänsä näiden samojen tunnistusmekanismien avulla. Loppukäyttäjälle voidaan näyttää erilainen diagnostiikkaohjelman ulkoasu ja asettelu riippuen moottorin laitteistokokoonpanosta. [10, 12]

Diagnostiikkatilanteet voidaan jakaa useisiin eri luokkiin sekä toimilaitteiden, että toimintatapaan perustuen. Sisään tulevan signaalin diagnosointi perustuu johonkin ennalta määritellyyn referenssiarvoon, jonka taso ei saa ylittyä. Kyseessä voi olla jännite tai jokin fysikaalinen suure. Esimerkiksi, öljynpainetta valvotaan paineanturin avulla. Itse paineeseen liittyy fysikaalinen suure joka määrittää raja-arvot joissa paine on hyväksyttävällä tasolla. Öljynpaineanturin ulostulosignaalin toiminta perustuu kuitenkin jännitteeseen, ja anturilta tuleva jännitesignaali muunnetaan vasta ohjainlaitteessa painesignaalia kuvaavaksi digitaalseksi signaaliksi. Näin ollen paineen lisäksi on valvottava itse anturin jännitesignaalia, jotta anturiviat voidaan tunnistaa. Signaalien lisäksi on monitoritava ohjainlaitteen sisäistä tilaa. Ohjelmistomoduuleiden ajonaikainen valvominen ja muistin eheyden tarkastelu ovat tärkeä osa nykyaikaista diagnostiikkajärjestelmää. Myös ohjainlaitteen ulkoista kommunikaatioväylää on sen tyypistä huolimatta kyettävä luotettavasti valvomaan. Ilman ulkoista liityntää diagnostiikkatietoa ei voida välittää eteenpäin muille laitteille tai loppukäyttäjälle. [9]

Raja-arvotarkasteluiden lisäksi diagnostiikkaan liittyy olennaisesti plausibiliteettikoheet. Näiden kokeiden tarkoitus on verifioida järjestelmän kokonaisprosessiin vaikuttavan komponentin toiminta. Esimerkkinä tästä on pakokaasujen takaisinkieppäysjärjestelmän ohjaussolenoidin toiminta. Yksityiskohtainen valvonnan toiminta on valmistajakohtainen liikesalaisuus, mutta yleisalgoritmi voidaan helposti päätellä järjestelmän toiminnan avulla. Valvovana elementtinä tässä tapauksessa on imusarjaan asennettu lämpötila-anturi. Referenssiarvona käytetään tietyssä tilanteessa tiedettyä moottorin pakokaasujen lämpötilan vaikutusta imuilmaan ja näin ollen imusarjan lämpötilan arvoon. Kun solenoidi avataan ja pakokaasu kiertää takaisin moottorin imusarjaan, voidaan olettaa, että imusarjan lämpötila nousee. Jos näin ei kuitenkaan tapahdu, voidaan järjestelmän olettaa toimivan väärin ja diagnosoida vikatilanne. [5]

3. DIAGNOSTISET LAITTEISTORAJAPINNAT

Erilaiset sähköiset rajapinnat johtavat juurensa ajoneuvoteollisuudessa 1970-luvulle. Väyliin siirtymisen suurimpana edistäjänä on kustannussäästö joka tulee väylän mukana tuomistaan eduista. Esimerkiksi jokin lämpötilatieto voidaan väylän avulla välittää käytännössä mielivaltaiselle määrälle erilaisia toimilaitteita sen sijaan, että jokainen ajoneuvon moduuli sisältäisi oman lämpötila-anturinsa. [18] Sama ajattelumalli pätee myös diagnostiikan suhteen. Jonkin anturin vikaantuessa vikatieto voidaan välittää kaikille tätä anturitietoa tarvitseville moduuleille.

Tämä luku esittää yleisemmin käytetyt laitteisto- ja väyläraajapinnat työkoneissa ja työkonemoottoreissa. Nämä rajapinnat tarjoavat yhteysrajapinnan muille koneen järjestelmille ja loppukäyttäjälle. Rajapinnoilla tarkoitetaan sellaisia fyysisiä ja ohjelmistollisia liittymäkohtia, joilla ulkopuolinen käyttäjä tai järjestelmä pääsee käsiksi toisen järjestelmän sisäisiin arvoihin. Työkoneiden ja muiden ajoneuvojen tapauksessa rajapinnan käyttäjä voi olla jokin ajoneuvolaite, kuten mittaristo, tai henkilö joka suorittaa jotain diagnostista toimenpidettä työkoneelle tai sen moottorille.

Rajapintojen kuvaus on selkeintä käyttämällä OSI (Open Systems Interconnection Reference Model) -mallia. Vaikka malli on jo vanha, antaa se selkeän kuvan rajapintojen eri tasoista, fyysisistä liittymäistä sovelluksiin asti. OSI-malli jakaa rajapintojen toiminnallisuudet seitsemään eri kerrokseen. Näistä kerroksista alimpana on fyysinen kerros.

1. Fyysinen kerros kuvaa väylän fyysisiä ominaisuuksia ja määrittelee myös sähköiset ominaisuudet.
2. Datayhteyserros kuvaa väylän dataliikenteen muodot eli kehykset ja sähköisen signaalin määrittelemän loogisen vastineen.
3. Verkkokerros kuvaa tiedon reititykseen ja välitykseen liittyvän toiminnallisuuden. Tämä liittyy esimerkiksi IP (Internet Protocol) -verkoissa käytettyyn reititykseen.
4. Datavälityserros kuvaa tiedon välitykseen liittyvää toiminnallisuutta. Esimerkkinä tästä on protokollat jotka pilkkovat datan alempien kerroksien vaatimien lähetysyksiköiden kokoisiksi.
5. Istuntokerros kuvaa tiettyyn istuntoon liittyvät toiminnallisuudet. Esimerkiksi moottoriohjaimen päivitys vaatii aina tietyn istunnon tietoturvan varmistamiseksi.
6. Esityserros kuvaa datan esitysmuodon, mutta tätä kerrosta ei yleensä toteuteta ajoneuvodiagnostiikassa.

7. Sovelluskerros on OSI-mallin ylin kerros ja kuvaa sovellusta, joka käyttää kaikkia alempia palveluita tiedon välitykseen. Esimerkkinä tästä KWP2000 (Keyword Protocol) -protokolla.

OSI-mallissa alempi taso tarjoaa palvelut ylemmälle tasolle tietyn rajapinnan kautta, ja ylemmät tasot käyttävät alemman rajapinnan määrittelemiä palveluita. [19]

Tässä luvussa kuvatut rajapinnat toteuttavat joko yhden, tai useamman OSI-mallin kerroksen.

3.1 Fyysiset liitynnät

Henkilö- ja hyötyajoneuvoteollisuudessa fyysisen liitynnän on jo pitkään määritellyt lakivaatimus. Ensimmäinen määrittelijä liitynnälle oli Kalifornian ilmastolautakunta (CARB) joka vuoden 1996 asetuksessaan määräsi OBD-II-standardin mukaisen pistokkeen asennettavaksi kaikkiin Kaliforniassa myytäviin autoihin. Muutamia vuosia myöhemmin, Euroopan alueella toteutettiin sama määrittely siten, että 2001 vuosimallin ja sitä uudemmissa autoissa pistoke oli pakollinen. [19]

Standardin mukaisen liitynnän vaatimusta ei ole ollut työkoneajoneuvoissa, eikä muusakaan raskaassa liikenteessä, joten valmistajat ovat saaneet itse täyden harkintavallan diagnostiikkaliittimen ja fyysisen rajapinnan määrittelyssä. Näin ollen jopa saman konsernin tuotteissa liityntä voi olla käytännössä ihan minkä tyyppinen tahansa. Tähän on kuitenkin tulossa muutos viimeisimmän emissiolainsäädännön puitteissa Euroopassa [20]. Tarkempia tietoja lakivaatimuksista esitellään luvussa 5.2. Yhtenäistämiskaava työkoneajoneuvoissa johtuu lähinnä eri alihankkijoiden tarpeesta vakiinnuttaa rajapintoja, jotta ajoneuvossa toimivat laitteet voivat kommunikoida keskenään sujuvasti. [18]

3.2 Digitaaliset kytkinrajapinnat

Yksinkertaisimmillaan diagnostinen rajapinta voi olla kytkintieto, joka ohjaa varoitusvaloa tai summeria. Näiden indikaattorien avulla tieto diagnostisesta tilasta, tai viasta, voidaan välittää käyttäjälle. Lisätietoa laitteen tilasta voidaan myös välittää varoitusvalon avulla, esimerkiksi toistamalla siinä jokin ennalta määrätty sekvenssi välähdyksiä. Tällainen järjestelmä mahdollistaa yksinkertaisimmillaan tehokkaan tavan välittää tietoa laitteen diagnostiikasta. [21]

3.3 Väylärajapinnat

Edellisessä aliluvussa kuvattu yhtenäisyysongelma koskee myös väylärajapintoja. Ajoneuvoteollisuus on perinteisesti käyttänyt sarjaliikennepohjaisia väyliä käytännön syistä, mutta hajonta on ollut suurta. Eri väylien standardit ovat olleet yksinkertaisimmista RS-232-väylistä täysin valmistajakohtaisiin suljettuihin ratkaisuihin. [18]

Bosch Automotive Handbook jakaa yleisemmin käytetyt väylät luokkiin seuraavasti:

Taulukko 1: Ajoneuvoväylien luokittelu [9]

Luokka A	
Siirtonopeus	Hitaat väylät (< 10 kb/s)
Sovellutus	Antureiden ja toimilaitteiden välinen liikenne
Väylä	LIN, PSIS
Luokka B	
Siirtonopeus	Keskinopeuksiset väylät (< 125 kb/s)
Sovellutus	Monimutkaiset vikahallintajärjestelmät. Mukavuusalueen ohjainyksiköt
Väylä	Matalanopeuksinen CAN (CAN-C)
Luokka C	
Siirtonopeus	Nopeat väylät (< 1 Mb/s)
Sovellutus	Reaaliaikajärjestelmät ajoneuvoissa, voimansiirto ja moottori.
Väylä	Nopea CAN (CAN-D)
Luokka C+	
Siirtonopeus	Erittäin nopeat väylät (10 MB/s)
Sovellutus	Reaaliaikajärjestelmät ajoneuvoissa, voimansiirto ja moottori.
Väylä	FlexRay, CAN-FD
Luokka D	
Siirtonopeus	Erittäin nopeat väylät (< 10 MB/s)
Sovellutus	Reaaliaikajärjestelmät ajoneuvoissa, voimansiirto ja moottori. Telemetria. Multimedia.
Väylä	MOST (Media Oriented Systems Transport) , Ethernet

Taulukko 1:ssä määriteltyjen väylien lisäksi B-luokkaan voidaan laskea kuuluvan myös RS-232-väylän, joka on tunnetumpi tietoteknisissä sovelluksissa, mutta käytössä myös moottorinohjausjärjestelmissä. [22] Tämä luku keskittyy tämän työn kannalta olennaisiin väyliin, mutta käy myös lyhyesti läpi muita ajoneuvoteollisuudessa käytettyjä väyliä.

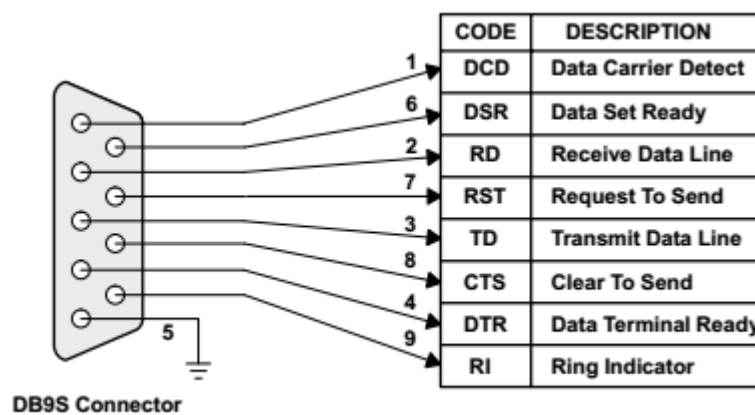
3.3.1 RS-232

Tiedonsiirtomäärien ja tietokoneen ulkoisten laitteiden määrän kasvaessa valmistajat tarvitsivat standardin, joka määritteli sähköisen yhteensopivuuden eri laitteiden välille. Ongelmana oli myös, että väyläiä ja tietokoneen sisällä käytettyä logiikkaa ei oltu suun-

niteltu pitkien matkojen tiedonsiirtoon. RS-232 -standardi kehitettiin loogisten signaalien välittämiseen eri laitteiden välillä. Vaikka useita eri standardeja on ollut saatavilla, niin markkinat ovat osoittaneet RS-232 -standardin käytetyimmäksi. RS-232-sarjaväylän spesifikaatio on alun perin vuodelta 1969 [23], mutta sitä on paranneltu ja muokattu uusilla revisiolla vuosien varrella. Nykyisin standardi on EIA-232F [24, 25]. Muutokset ovat kuitenkin olleet lähinnä kosmeettisia, ja vanhatkin sarjaporttiväyläiset laitteet ovat käytännössä säilyttäneet yhteensopivuutensa uusien kanssa [25].

Monikäyttöisyytensä takia sarjaporttia on käytetty myös diagnostiikassa moottorin ja ajoneuvon välillä [22].

Vaikka väylä ja standardi ovat jo vanhoja, on sarjaporttiliikenteellä vielä nykyäänkin



Kuva 10: RS-232-standardin mukainen D9-liitin [25]

tettu tiedon siirtämiseen lyhyellä välillä, mutta korkeilla nopeuksilla.

Yhteyden päätepisteiksi on määritetty Data Terminal Equipment (DTE), eli tässä tapauksessa pääte, ja Data Communication Equipment (DCE), eli vastaanottava kommunikaatiolaite.

Standardi määrittelee myös kaksi yleisesti käytettyä liittintä. Kummatkin liittimet ovat D-tyypin liittimiä, joista toisessa on 25 ja toisessa 9 pinniä. Näistä ensin mainittu on käytännössä kuitenkin poistunut käytöstä laitteiden pienentyessä. [18] Kuva 10 esittää standardinmukaisen liittimen kytkentäjärjestyksen ja siihen liittyvät pinnifunktiot. Vaikka standardi määrittelee useita eri pinnejä muun muassa kättelyyn ja liikenteen hallintaan, käytännössä näistä pinneistä on käytössä lähinnä lähetys, vastaanotto ja maa. Tällöin puhutaan väyläliikenteestä ilman laitteistokättelyä [26]. Tarkemmat selitykset pinneille löytyvät taulukosta 2.

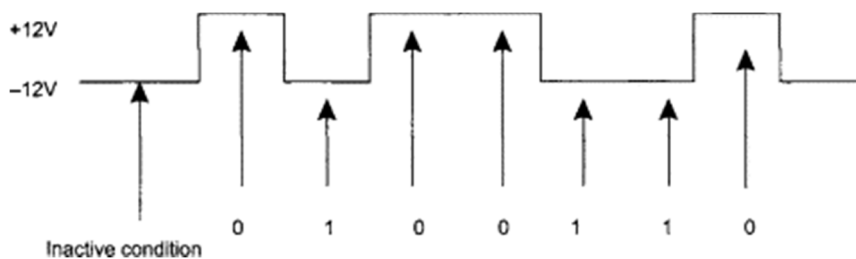
paljon käyttöä laitteiden välisessä kommunikaatiossa. Sarjamuotoisen liikenteen edut ovat sen mahdollistamat lähetysetäisyydet, toisin kuin rinnakkaisessa tiedonsiirrossa, joka on tarkoi-

Taulukko 2: RS-232 D9 -liittimen pinnien selitykset

Pinni	Koodi	Nimi	Selitys
1	DCD	Data Carrier Detect	Riippuu sovelluksesta, mutta yleensä antaa statusen DCE:n yhteydestä.
2	RD	Received Data	Dataliikenne DCE -> DTE
3	TD	Transmitted Data	Dataliikenne DTE -> DCE
4	DTR	Data Terminal Ready	DTE valmis lähettämään
5	GND	Ground	Yhteinen maa
6	DSR	Data Set Ready	DCE valmis lähettämään
7	RST	Request to Send	DTE pyytää DCE:ltä dataa
8	CTS	Clear to send	DCE on valmis vastaanottamaan
9	RI	Ring Indicator	DCE on havainnut tulevan signaalin kommunkaatiolinjalla

Sähköisesti standardi on määritelty siten, että -3 V ja +3 V välillä looginen tila on määrittelemätön. Looginen 0 esitetään jännitteen ollessa -3 V ja -25 V välillä, ja looginen 1 jännitteen ollessa 3 V ja 25 V välillä (Kuva 11). Yhteensä 6 V alue mahdollistaa suhteellisen hyvän häiriöherkkyyden. [23] Uusimmassa standardissa jännitemäärittystä on tarkennettu siten, että kummankin loogisen tilan huippuarvoja on alennettu 10 V. [25, 26]

RS-232-standardin haasteita ovat rajoitukset signaalien loogisissa virroissa sekä balansoimaton rakenne. Balansoimaton rakenne on alttiina ulkopuolisille häiriöille ja saat-



taa aiheuttaa maatasen kellumista lähettäjän ja vastaanottajan päässä. Koska johtimen virran määrä on rajoitettu, pitää datanopeus pitää riittävän alhaisena, jotta estetään johtimen

Kuva 11: RS-232-jännitetasot [26]

käyttötymisen antennina. Alkuperäinen standardi määritteli johdon pituudeksi noin 15 metriä. Uudemmassa standardissa määrittäminen on muutettu vastaamaan maksimikapasi-

tanssia johtimelle ja lähettimelle. Määritelty 2500 μF maksimikapasitanssi tarkoittaa sitä, että johtimen pituus voi olla noin 15-20 metriä, nopeudesta riippuen. [24]

Kehysrakenne RS-232-väylällä on asynkroninen jossa jokaisen kehyksen aloittaa start-bitti ja päättää stop-bitti. Lisäksi kehyksen väleissä on niin kutsuttu inaktiivinen aika jolloin väylä on määrätyn ajan loogisen 1:n tilassa. Jokainen kehys sisältää seitsemän tai kahdeksan databittiä, yhden pariteettibitin ja sovitun määrän stop-bittejä. Kehyksen ajoitus riippuu valitusta väylänopeudesta kuten myös datan leveys, pariteetti ja stop-bittien määrä. [26]

Pariteettibitti tarjoaa väylälle yksinkertaisen virheenkorjausalgoritmin. Pariteetti määritellään laskemalla kehyksessä olevien loogisten 1:n määrä. Bitin tila riippuu siitä, onko laskettu määrä parillinen vai pariton.

Koska standardi määrittelee signaalin muutosnopeuden ja johtimen kapasitanssin, määrittelee se myös suoraan mahdolliset siirtonopeudet näiden funktiona. Määritellyn 30 V/ μS jännitteen muutosnopeuden huomioon ottaen väylän maksiminopeus voi olla 200 kb/s. Käytännön testit ovat kuitenkin osoittaneet, että nopeus rajoittuu noin 120 kb/s tasolle, sillä vaikka johtimen suojaus ulkoisilta häiriöiltä on kunnossa, aiheuttavat johtimen sisäiset häiriöt vääristymiä signaaleihin. [25]

3.3.2 CAN

Tämä aliluku perustuu lähteisiin [5, 9, 18, 19], ellei toisin mainita.

Nyky aikaisten työkonien eri ohjausyksiköt kommunikoivat pääasiassa CAN-väylän avulla. Suurin osa diagnostiikkakommunikaatiosta tapahtuu myös saman väylän kautta. CAN-väylän ominaispiirteitä ovat korkeat datanopeudet ja erinomainen vikasietoisuus. Lisäksi väylän topologia mahdollistaa usean eri moduulin kommunikaation samalla väylällä prioriteetteja noudattaen. Teoriassa väylällä voi olla määrittelemätön lukumäärä laitteita, mutta käytännön sähköiset vaatimukset asettavat rajoituksia väylällä olevien laitteiden lukumäärään. Esimerkiksi joidenkin ohjaimien datalehti määrittelee maksimilaitteiden määräksi 112.

Jos ajoneuvossa tai laitteessa on useampia eri nopeudella toimivia laitteita, tai enemmän laitteita kuin sähköisesti on mahdollista, voidaan laitteiden välillä käyttää väyläsilloja. Nämä sillat erottavat eri väylät sähköisesti toisistaan, mutta voivat välittää toisella väylällä olevat tarvittavat viestit eri väylän moduuleille. Käytännössä tällaisia tilanteita tulee vastaan aina, kun ajoneuvossa tai laitteessa on eri määrittelyllä toimivia moduuleja. Esimerkiksi ilmastointilaitteen vaatima tieto ulkolämpötilasta voi tulla moottoriohjaimelta, mutta koska mukavuuslaitteiden väylä on yleensä turvallisuussyistä erotettu moottoriväylästä, tarvitaan näiden viestien välittämiseen väyläsilta.

Nykyään CAN-väylä on ajoneuvo- ja työkoneteollisuudessa de-facto standardi. Väylän käyttö ei kuitenkaan ole rajoittunut vain ajoneuvoihin, vaan se on käytössä laajasti teollisuudessa, lääketieteestä automaatioteknologiaan. Teollisuuden pyrkimys yhdenmukaistaa väylämäärittelyitä on ollut käynnissä jo useamman vuoden, mutta asiaan on otettu lainsäädännöllisesti kantaa vasta nyt. Tähän liittyen väylästandardiksi on määritellyissä valittu juuri CAN-väylä.

Bosch kehitti CAN-väylän 1980-luvun alussa pääasiassa henkilö- ja hyötyajoneuvojen tarpeeseen. Tarve uuden väylän kehittämisestä syntyi eri ajoneuvomoduulien tarpeesta kommunikoida keskenään ajoneuvon sisällä. SAE julkaisi virallisen spesifikaation nimellä ”Serial Controller Area Network” Detroitissa vuonna 1986 ja vuotta myöhemmin Intel julkaisi ensimmäisen väyläohjaimen, AN82526:n. 1991 Bosch esitteli CAN-määrittelyn version 2.0 ja se virallistettiin ISO -standardiksi ISO 11898. Tätä ISO-standardia kehitetään jatkuvasti ja siihen on tehty monia eri lisäyksiä. Nykyisin, 1992 perustettu yhdistys, ”Can in Automation” (CiA) kehittää CAN-pohjaisia protokollia teollisuuden tarpeisiin. Uusin standardi ISO 11898:2015 laajentaa perusstandardia uudemmalla CAN FD formaatilla. Tämän formaatin erot on kerrottu lyhyesti aliluvussa 3.3.3.

CAN2.0 määrittelystä on olemassa A- ja B -versiot, joiden ero on CAN-ID kentän pituus. A-versiossa kentän pituus on 11 bittiä, mutta tämä todettiin riittämättömäksi ja B-versiossa kentän pituus kasvatettiin 29 bittiin. Tämä mahdollisti vastaavasti 2032 eri tunnistetta A-, ja yli viisisataa miljoonaa tunnistetta B-versiossa.

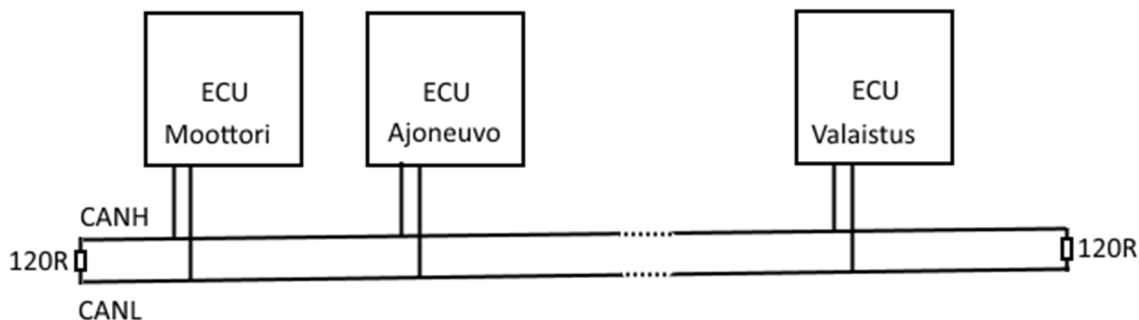
Määrittely esittelee tarvittavat teknologiat moduulien väliseen kommunikointiin, mutta ei itsessään ota kantaa diagnostiikkatoteutukseen. Tätä varten valmistajat ovat kehittäneet omia protokollia, mutta myös yleisesti käytössä olevia protokollia kuten KWP2000 on käytössä laajasti.

CAN-väylän, OSI -mallin mukainen fyysinen kerros muodostuu kierretystä parikaapelista, joissa kulkee differentiaalinen jännitesignaali. Parikaapelin häiriönsietoisuus perustuu differentiaaliseen jännitesignaaliin. Häiriösignaali näkyy samanlaisena kummassakin johtimessa ja näin ollen summautuu signaalista pois.

Parin johtimia kutsutaan määrittelyn mukaan termeillä CAN-High ja CAN-Low (CANH, CANL). Kummankin johtimen jännite on biasoitu 2,5 volttiin. Väylällä olevaa loogista asentoa kuvaa kaksi tilaa, resessiivinen ja dominantti. Resessiivisessä tilassa kumpikin johdin asettuu bias-jännitteeseen ja dominantissa tilassa CANH-johdin asettuu 3,5 V jännitteeseen ja CANL-johdin vastaavasti 1,5 V jännitteeseen. Dominantti tila vastaa loogista nollaa ja resessiivinen tila loogista ykköstä. Nimityksien mukaan dominantti tila korvaa aina resessiivisen tilan. Itse väylä pitää heijastumien ja häiriöiden ehkäisemiseksi päättää 120ohmin vastuksella kummassakin päässä. Päätevastukset voivat

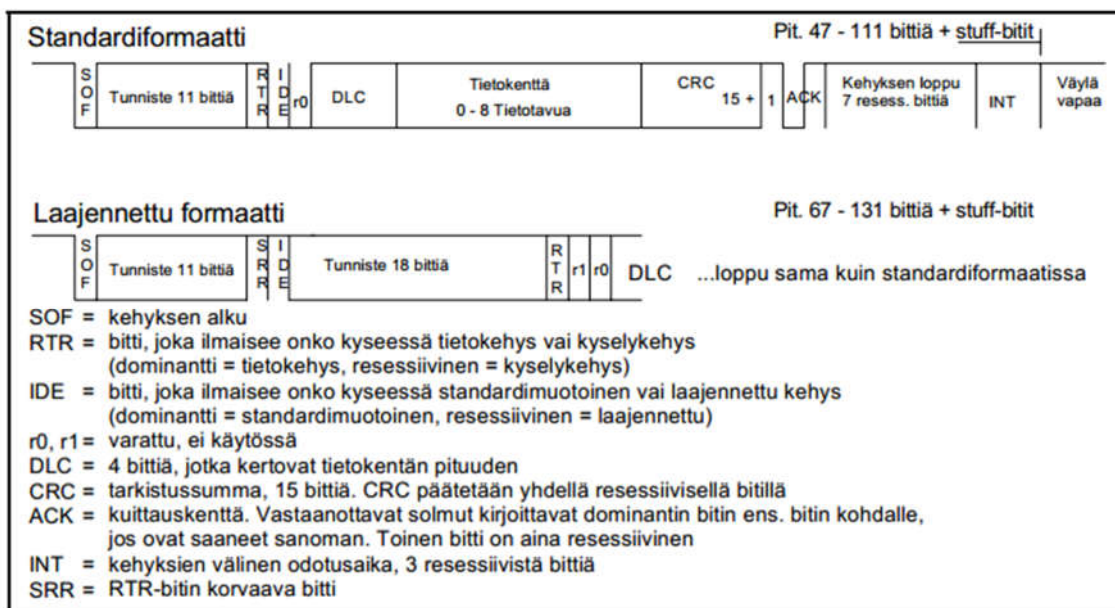
olla ulkoisia vastuksia, tai joissakin tapauksia sähköisesti ohjattavia vastuksia päätelaitteiden sisällä.

Kuva 12 esittää CAN-väylän yleisen topologian. Samaan verkkoon voidaan edellä kuvatusti liittää siis useita laitteita josta kaikki toimivat moni-isäntä periaatteella. Kaikki laitteet voivat siis aloittaa kommunikaation väylällä käytännössä minä hetkenä tahansa, mutta siirtoyhteyskerroksen toiminta huolehtii, että korkeimmalla prioriteetilla oleva laite saa varattua väylän itselleen lähetyksen ajaksi.



Kuva 12: Väylätopologia

CAN-väylä käyttää tiedonsiirrossa NRZ (Non Return to Zero) -koodusta. Tämä tarkoittaa sitä, että väylällä ei ole määritettyä lepotilaa vaan tila on looginen nolla tai ykkönen kaikilla ajan hetkillä. Näin ollen väylä ei ole itsestään tahdistuva, vaan tahdistusmekanismina käytetään kehyksessä olevia osia. Lisäksi käytössä on niin sanottu bit-stuffing. Tällä tarkoitetaan sitä, että jokaisen kuudennen bitin tila tulee olla eri kuin viiden sitä edeltävän. Näin ollen kuusi samaa tilaa tarkoittaa aina virheellistä kehystä.



Kuva 13: CAN-kehysformaatit [41]

Ulkoisen tahdistuksen puute aiheuttaa sen, että väyläkaapelin pituus rajoittuu käytetyn väylänopeuden funktiona. Koska kaikilla väylällä olevilla laitteilla tulee olla sama käsitys bitin tilasta jollakin ajan hetkellä, ei kulkuaika kaapelissa saa olla liian suuri. Siispä esimerkiksi 1 Mbit/s väylänopeudella johtimen pituus voi olla noin 40m kun taas hitaalla 50 kbit/s nopeudella sen pituus voi olla jopa 1 km.

Siirtoyhteyskerros määrittelee väylälle neljä erilaista kehystä.

1. Datakehys. Datan lähetys.
2. Etäkehys. Datan pyytäminen.
3. Virhekehys. Virheiden ilmoittaminen kaikille väylän laitteille.
4. Ylikuormituskehys. Väylän ylikuormittamisen ilmoittaminen väylän laitteille.

Kuva 13 esittää kaksi CAN-väylän datakehystyyppiä. Niistä ensimmäinen sisältää 11-bittisen CAN-ID kentän ja kehystä kutsutaan perusdatakehykseksi, tai standardiformaattiksi. Toinen kehystyyppi sisältää 29-bittisen ID -osan ja tätä kehystä kutsutaan laajennetuksi kehykseksi.

Koska väylällä ei ole erillistä kellosignaalia, tietokehys alkaa aina SOF-bitillä johon vastaanottavat laitteet synkronoituvat. Tämän jälkeen kehyksessä on 11-bittinen tunniste jota seuraa RTR- tai SRR-bitti joka määrittelee onko kyseessä data vai etäkehys.

1. IDE-bitti määrittelee kehysten tyyppin standardiksi tai laajennetuksi. Laajennetussa kehyksessä tunnisteiden loppuosa on tämän bitin jälkeen.
2. Bitit r0 ja r1 ovat varattuja bittejä ja ne eivät ole käytössä.
3. DLC kenttä sisältää datakentän datan määrän. Itse datakentän pituus voi olla 0 – 8 tavua.
4. CRC-kenttä sisältää virheentunnistukseen liittyvän tarkistussumman. On huomattava, että tätä kenttää tulee käyttää vain virheentunnistukseen. Sen tarkoitus ei ole tarjota virheidenkorjausta.
5. Ensimmäinen ACK-bitti asetetaan resessiiviseksi ja väylällä olevat laitteet asettavat sen vastaanottaessaan dominantiksi. Näin voidaan varmistaa, että ainakin yksi laite on vastaanottanut viestin. Toinen bitti asetetaan resessiiviseksi, jotta kenttä voidaan erottaa virhekehyksestä.
6. Kehysten päättää 7 resessiivistä bittiä. Tätä osaa kutsutaan EOF-osaksi.

Etäkehysten rakenne on periaatteellisesti sama kuin datakehysten, mutta sen tarkoitus on välittää datan välityspyyntö jollekin väylällä olevalle laitteelle.

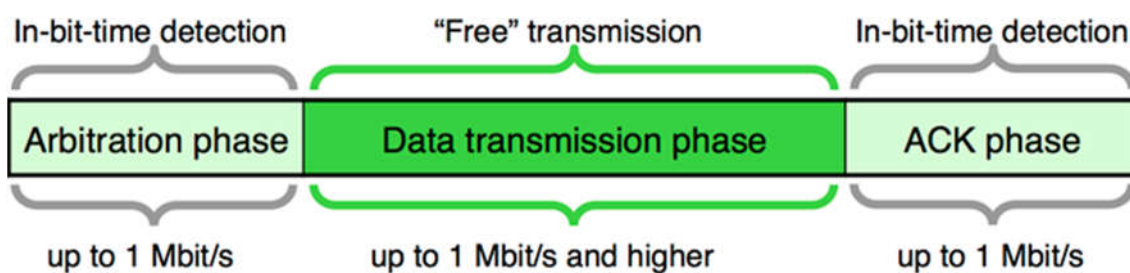
Virhekehyksellä laitteet ilmoittavat jostakin väylällä tapahtuneesta virheestä. Virhekehys alkaa kuudella dominoivalla bitillä, joka rikkoo bit-stuffing sääntöä ja näin ollen määrittelee virhekehysten. Kehys päättyy kahdeksaan dominanttiin bittiin.

CAN-viesteillä ei ole varsinaista kohde- tai lähdeosoitetta, vaan tunnistekentällä on kaksi eri tarkoitusta. Viestin prioriteetti määräytyy kehyksen alussa olevan CAN-ID tunnisteeseen mukaan. Väylän priorisointi toimii siten, että pienimmällä CAN-ID:llä oleva viesti saa aina lähetysprioriteetin. Tämä perustuu dominanttiin ja resessiiviseen signaaliin siten, että dominantti, eli looginen 0-tila saa väylällä aina prioriteetin. Toisaalta viestin ID-kenttä voi myöskin sisältää kohde ja lähdeosoitteen riippuen ylemmän tason protokollasta.

3.3.3 CAN FD

CAN FD (Flexible Datarate) on laajennus alkuperäiseen CAN standardiin. CAN FD kehitettiin vastaamaan jatkuvasti kasvaviin datamääriin ajoneuvoympäristöissä. Bosch aloitti kehityksen 2011 ja ISO 11898:2015 hyväksyttiin osaksi standardikokoelmaa vuonna 2015. Suurimmat muutokset ovat paljon korkeammat bittinopeudet (jopa 8 Mb/s) ja muuttuvanpituinen datakenttä (8-64 tavua / kehys). Ohjaimet jotka tukevat FD-määrittelyä, ovat yhteensopivia alkuperäisten CAN-kehysten kanssa. Näin ollen kummatkin protokollat voivat kommunikoida samalla väylällä. [27]

Nopeuden nostaminen perustuu siihen, että väylän varaaminen tapahtuu edelleen perinteisillä CAN-määrittelyn nopeuksilla, mutta kehyksen data-osuuden ajaksi nopeus voidaan nostaa korkeammaksi. Tästä johtuen myös vanhemman standardin CAN-liikenne on mahdollista samalla väylällä. Tämä periaate on esitetty kuvassa 14. CAN FD -kehys voidaan tunnistaa väylällä käyttämällä edellisessä standardissa määritettyä varattua bittä r0. Tämä bitti on määritelty FD frame-bitiksi. Sen resessiivinen tila määrää, että kyseessä on FD-kehys perinteisen CAN-kehysten sijaan, jolloin sen tila on dominantti. [27]



Kuva 14: CAN FD -kehysten ajoitus. [42]

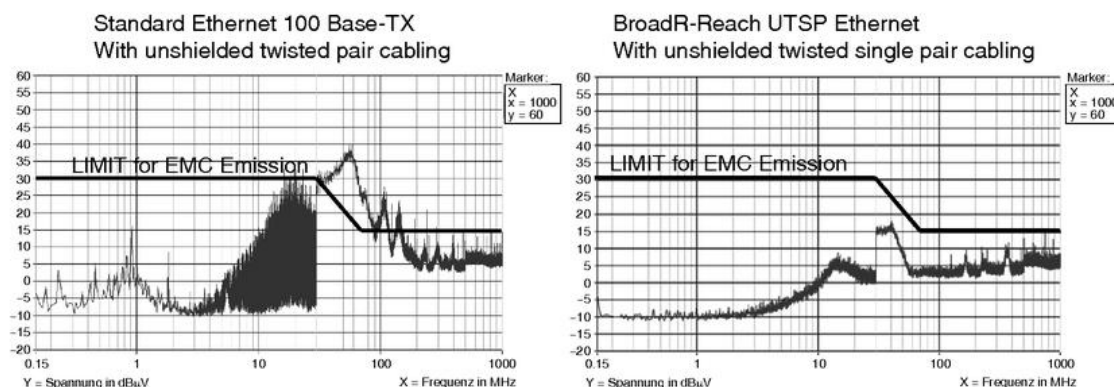
3.3.4 Automotive Ethernet

Tämä aliluku perustuu lähteisiin [28-31]

Automotive Ethernetin kehitys lähti liikkeelle vuonna 2004 BMW:n tarpeesta parantaa autoissaan olevien ohjainlaitteiden muistin ohjelmointia. Ohjaimien ohjelmistot ovat toimintojen lisääntyessä kasvaneet niin suuriksi, että perinteiset ajoneuvotekniikoissa käytetyt väylät eivät olleet tarpeeksi nopeita kokonaisaikavaatimusten toteuttamiseksi. Toinen ongelmallinen kohta oli, että ajoneuvojen sisällä olevat laitteet kommunikoivat eri väylillä riippuen laitteen valmistajasta ja näin ollen valmistajan oli huolehdittava kaikkien laitteiden yhteensopivuudesta ohjelmointitilanteessa.

Uuden väyläteknologian kehittämiseksi asetettiin joitakin perusvaatimuksia. Väylän datanopeuden tulisi olla niin suuri, että sitä voisi käyttää siltaamaan kaikki ajoneuvoissa käytettävät silloiset (2004) väylät. Ohjainlaitteiden ohjelmointiprosessi tehdään vain muutaman kerran ajoneuvon eliniän aikana, joten suuria kustannuslisäyksiä ei voinut perustella. Tarjolla olevista väylävaihtoehdoista nopein jo standardoitu vaihtoehto oli MOST-väylä, mutta se oli tarkoitettu multimediadatan siirtämiseen ja näin ollen sisälsi ominaisuuksia, jotka tekivät väylän käytöstä epäkäytännöllistä ohjelmointitarkoituksiin. Sama ongelma koski myös käytettyjä yleisiä tietokoneväyliä, kuten USB (Universal Serial Bus)-väylää. Lisäksi USB:n käyttöä rajoitti johtimen fyysinen maksimipituus. Näin ollen ainoaksi todelliseksi vaihtoehdoksi jäi Ethernet.

Ethernetin kaapelointivaatimukset olivat kuitenkin liian haastavat ajoneuvoympäristöihin eikä suojatun 4-parisen STP (Single Twisted Pair) kaapelin käyttö ajoneuvoissa ollut painon tai kustannusten takia mahdollista. Näin ollen oli kehitettävä uusi väylä joka mahdollisti Ethernet liikenteen vaaditulla nopeudella suojaamattoman parijohtimen avulla. Kokeellinen ratkaisu kuitenkin paljasti, että 2-pari-Ethernet ei ollut ongelmaton. Vaikka sen häiriönsietokykyisyys kulkuneuvoympäristössä oli riittävä, olivat sen ulkopuolelle antamat EMC (Electromagnetic Compatibility) -häiriöt liian suuret. Käytännössä ajonaikainen väylän käyttö olisi aiheuttanut kuuluvan häiriön esimerkiksi FM (Fre-



Kuva 15: EMC-mittaukset automotive-ethernetillä [30]

quency Modulation) radioon. Näin ollen kehityksessä siirryttiin etsimään ratkaisua joka täyttäisi myös EMC -vaatimukset.

Läpimurtoon päästiin käyttämällä IEEE 802.3 1000BASE-T -standardin määrittämää fyysistä rajapintaa ja näin ollen muodosti ensimmäisen kokeellisen version Automotive Ethernet -standardista.

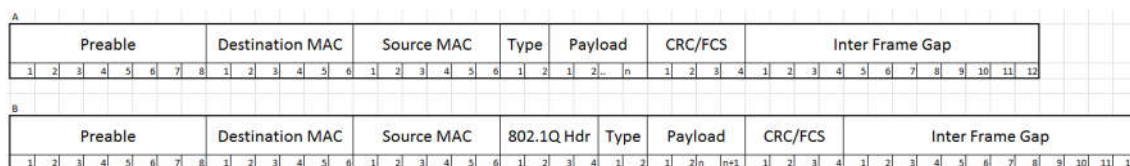
Kuva 15 esittää kaksi eri sähkömagneettisen emission mittausta, joissa X-akselilla on kuvattu taajuus ja Y-akselilla mitattu emissio dBuV. Vasemmalla näkyvässä kuvaajassa on käytetty perinteistä suojaamatonta parikaapelia, ja IEEE 802.3 -standardin mukaisia lähetyksenmenettelyitä. Oikealla kuvassa näkyy vastaavasti varhaisen Automotive Ethernet teknologian, suojaamattomalla parikaapelilla tehty mittaustulos. Aikaisempi standardi ylittää ajoneuvoteollisuudessa sallitut mittausrajat selkeästi, kun taas Automotive Ethernet -standardilla tehty toteutus pysyy sähkömagneettisilta emissioiltaan sallituissa rajoissa. Raja-arvot ajoneuvoteollisuudelle on määritetty standardissa ISO 11452-5. Tätä rajaa noudattavat henkilö- ja hyötyajoneuvoteollisuus, mutta myös työkonemoottorivalmistajat. [32]

Automotive Ethernet on teknologiana vielä uusi, mutta käytössä jo joillakin ajoneuvovalmistajilla. Kehitys lähti liikkeelle yhden henkilöautovalmistajan tarpeesta, mutta on sittemmin muotoutunut jo viralliseksi standardiksi IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) kokoelmaan. Alun perin teknologiasta käytettiin nimeä BroadR-Reach, mutta sittemmin virallinen standardi, IEEE 802.3bw, hyväksyttiin osaksi IEEE 802.3 -standardikokoelmaa syyskuussa 2015.

802.3bw -standardin fyysinen rajapinta on differentiaalinen, kierretty pari, jossa sähköiset signaalit kulkevat parissa kumpaankin suuntaan samaan aikaan. Kyseessä on siis full-duplex liikenne, toisin kuin esimerkiksi 802.3-standardin mukaisessa kerroksessa jossa duplexiliikenne toteutetaan kahdella simplex-parilla. Duplexisuus toteutetaan hybridivastaanottimella joka erottelee sähköisesti lähtevän signaalin vastaanotetusta signaalista. Tämä ominaisuus on kopioitu suoraan IEEE 802.3ab -standardista, joissa tällaisia kanavia eli johdinpareja on neljä.

Sähköisesti käytössä on PAM (Pulse Amplitude Modulation) -enkoodaus kolmella eri symbolilla. Symbolien vastaavat jännitteet ovat -1 V, 0 V ja 1 V. Lähetystaajuus parissa on 66 2/3 MHz, ja keskimääräinen kaistanleveys on 27 Mhz. Näin ollen kaapelin pituudeksi voidaan karkeasti arvioida 15 metriä.

Standardi ei määrittele mitään fyysistä liityntää, vaan liityntä on usein valmistajakohtainen. Henkilöautojen tapauksissa liittimenä voidaan käyttää OBD-standardin mukaista liittintä, joissa tietyt pinnit on varattu valmistajakohtaiseen käyttöön.



Kuva 16: Käytetyt Ethernet-kehystyyppit

Koska 802.bw on tehty lisäyksenä 802 -standardiin, noudattaa se fyysisen kehysraken- teen osin samaa rakennetta kuin muu Ethernet. Lisäyksenä on VLAN (Virtual Local Area Network) -tuki, eli IEEE 802.1Q -standardin mukainen VLAN-Tag.

Historiallisista syistä käytännössä kaikki viittaukset Ethernet-kehysiin ovat itse asiassa Ethernet II -kehysiä. Toisin sanoen, yleisesti Ethernet-kehyksestä puhuttaessa tarkoitetaan itse asiassa Ethernet II -kehystä. Sama koskee myös tämän aliluvun termistöä.

Kuva 16 esittää kaksi eri Ethernet-kehystyyppiä, jotka ovat olennaisia Automotive-Ethernetin kannalta. A-kehys kuvaa perinteistä kehystä, ja B kehystä johon on lisätty VLAN tunniste.

Kentät kehyksissä ovat seuraavat:

1. Preamble: Jokaisen kehyksen aloittaa kahdeksan tavua vuorottelevia bittejä, ykkösiä ja nollia. Lisäksi viimeisen tavun kaksi viimeistä bittiä ovat ykkösiä. Tämän kentän tarkoitus on synkronoida vastaanotin lähettäjään.
2. Destination MAC: Vastaanottajan laitteisto-osoite.
3. Source MAC: Lähettäjän laitteisto-osoite.
4. Type: Datakentän protokollan tyyppi.
5. 802.1Q Header: Vain B-kehyksessä. VLAN-tagin
6. Payload: Datakenttä.
7. CRC/FCS: Tarkastussumma virheentarkastusta varten.
8. Inter Frame Gap: Lähetysten välissä tulee olla vähintään 12 tavua tyhjää.

Kaikilla Ethernet-laitteella on yksiselitteinen laitteisto-osoite. Laitteisto-osoitteen pituus on 6 tavua, eli niitä voi olla yhteensä 2^{24} kappaletta. Laitteisto-osoite koostuu kahdesta osasta, josta ensimmäiset kolme tavua määrittävät laitteen valmistajan ja kolme jälkimäistä uniikin laitteen tunnisteeseen.

802.3-standardi määrittelee kehyksen jonka rakenne on periaatteellisesti samanlainen Ethernet -kehyksen kanssa. Erona on vaihtoehtoinen 2-tavuinen MAC (Media Access Control address) -osoite, jota ei kuitenkaan käytännössä käytetä. Lisäksi tyyppikentän korvaa datakentän koko. Yhteensopivuus varmistetaan sillä, että Ethernet-kehyksen Type-kentän arvo on aina suurempi kuin 1500. Näin ollen tarkastelemalla tätä kenttää voidaan päätellä, kumpi kehys on kyseessä.

Kehyksen minimipituus on 46 tavua, ja maksimipituus 1500 tavua. Käytössä voi olla myös niin sanottu jumbo-kehys, mutta tämä ei ole standardin mukainen Ethernet-kehys. Asia tulee kuitenkin tiedostaa, koska tällaisia kehyksiä on käytössä monessa gigabitin Ethernet-verkossa.

3.3.5 Muut yleisesti käytetyt rajapinnat

Edellisten rajapintojen lisäksi yleisessä käytössä on lisäksi joitakin historiallisia laitteistorajapintoja, kuten LIN-väylä ja K-line, jotka ovat käytännössä korvautuneet uusilla modernimmilla rajapinnoilla. Nämä eivät ole tämän työn kannalta mielenkiintoisia, mutta ovat olennaisia diagnostiikan suunnittelussa, jotta voidaan ymmärtää perusteita joidenkin tiettyjen väylien käyttöön. Esimerkiksi LIN (Local Interconnect Network) -väylä tarjoaa edelleen kustannustehokkaan vaihtoehdon CAN-väylälle, jos tarvittava datansiirtonopeus on pieni. Myös uudet nopeat väylät kuten FlexRay ja MOST ovat käytössä monissa ajoneuvoissa, mutta niiden käyttökohteet ovat lähinnä henkilöautot eivät-kä ne ole saaneet suurta suosiota työkonevalmistajien keskuudessa. [19]

4. DIAGNOSTIIKKAPROTOKOLLAT

Diagnostinen liikenne perustuu aina asiakkaan eli testerin ja palvelimen eli ohjausyksikön väliseen liikenteeseen. Tällainen liikenne perustuu ennalta sovittuun standardiin protokollaan, jolla laitteet kommunikoivat keskenään. Protokollan avulla saadaan tietoa laitteen diagnostisesta tilasta, mutta sillä voidaan myös saada tieto muiden ohjaimen kytkettyjen laitteiden tilasta. Määritellyn protokollan ja rajapinnan avulla testeriohjelmisto analysoi diagnostista informaatiota. Protokollat tarjoavat myös muita palveluita liittyen ohjaimen tunnistamiseen ja muistioperaatioihin, kuten Flash- ja EEPROM-muistien päivittämiseen. Diagnostiikkaliikenne sisältää myös aina pyynnön asiakkaalta ja myönteisen tai kielteisen vastuksen palvelimelta. [19]

Yllä olevan määrittelyn mukaiseen kommunikointiin liittyy oleellisesti myös istunnon määrittely. Voidaan sanoa, että aikaa, joka sisältää tarvittavan määrän diagnostista liikennettä sanotaan istunnoksi. Istunnon tasosta riippuu, mihin kaikkiin moottoriohjaimen toimintoihin diagnostiikkaohjelmistolla on pääsy. Diagnostiikkaprotokollat tarjoavat tietyt säännöt myös istuntojen avaamiseen, hallintaan ja niiden sulkemiseen. [13]

Useimpien diagnostisten protokollien toimintatapa on samankaltainen. Peruskommunkaatio tapahtuu jossakin määrittelyssä istunnossa, jolla on pääsy tiettyihin diagnostisiin toimintoihin. Näin ollen istunnon taso määrittelee myös käyttöoikeudet. Perusistunto tarjoaa pääsyn vikakoodeihin ja laitteen yleisimpiin mittakanaviin. Jos ohjaimen tilaa tai muistia halutaan muuttaa, vaatii se istunnon muuttamista näitä käyttöoikeuksia vastaavaan tilaan. Enemmän toimintoja tarjoavat istunnot on yleensä suojattu jonkinlaisella autentikointi- tai varmistusmekanismilla. Tällä estetään ensinnäkin tahaton muistin ylikirjoittaminen, mutta sen avulla voidaan myös suojata liikesalaisuuksiin kuuluvia valmistajakohtaisia tietoja joita moottoriohjausyksiköt yleensä sisältävät. Istuntotasoja on yleensä useita, ja ne ovat valmistajan määritelmän mukaisia. [19]

4.1 Historialliset protokollat

Historiallisilla rajapinnoilla tarkoitetaan sellaisia rajapintoja ja protokollia jotka ovat vielä käytössä joissakin sovelluksissa, mutta niitä ei enää aktiivisesti kehitetä. Lisäksi nämä protokollat ovat korvautumassa, tai jokin uudempi standardi on jo korvannut ne.

4.1.1 KWP2000

KWP2000 kehitettiin alun perin Euroopan autoteollisuuden tarpeisiin, ja se noudattaa standardia ISO 14230. Standardi määrittelee kolme OSI-kerroksen tasoa. Fyysisen-, da-

tayhteys- ja sovelluskerroksen. Näistä fyysinen ja datakerros määrittelevät K-line -laitteistorajapinnan. Vaikka KWP on edelleen käytössä useilla ajoneuvovalmistajilla, on sen fyysisen ja datakerroksen korvannut käytännössä CAN, standardina ISO 15765. Suurimpana muutoksena ISO 15765 -standardissa on KWP-kommunikaation pilkkominen kahdeksan tavun kokoisiin datapaketteihin, joka mahdollistaa niiden lähettämisen CAN-väylällä. ISO 15765 määrittelee myös lähes identtisen sovelluskerroksen KWP2000-standardin kanssa, mutta historiallisista syistä osa valmistajista on pidättäytynyt käyttämään alkuperäistä KWP-standardia myös ISO 15765:n kanssa. [13]

KWP2000-standardi määrittelee laajasti eri toimintoihin liittyviä palveluita, mutta tässä esitellyt ovat oleelliset tämän työn kannalta. Tämän lisäksi koska mikään standardi tai vaatimus ei ole määrittänyt yhtenäistä linjaa tämän protokollan käytölle, on KWP:n toteutus myös osittain valmistajakohtainen. Näin ollen tässä kappaleessa esitellään se toteutus, joka on myöhemmän rajapintasuunnittelun kannalta tärkeä ymmärtää. [19]

Diagnostisen liikenteen määrittelyn mukaan, myös KWP2000-liikenne perustuu pyyntöön ja vastaukseen. KWP2000-protokolla määrittää palvelu ID:n (Service ID, SID), jolla ohjaimen eri palveluita ja diagnostisia toimintoja voidaan aktivoida. Lisäksi standardi määrittelee palvelun toimintoon liittyvän ID:n (Local ID, LID). Kehystyyppejä on kolme:

1. Pyyntö. Kehyksen ensimmäinen tavu on SID ja n kappaletta tarvittavia pyyntöön liittyviä parametreja.
2. Positiivinen vastaus. Kehyksen ensimmäinen tavu on SID + 0x40 ja n kappaletta pyyntöön liittyviä parametreja.
3. Negatiivinen vastaus. Kehyksen ensimmäinen tavu on Nack ID, toinen SID. Viimeinen tavu määrää toiminnon sisäisen vikatilän. Negatiivinen vastaus on aina kolmetavuinen.

Esimerkiksi diagnostisen istunnon avaaminen tapahtuu standardin mukaan antamalla SID:n arvoksi 0x10 (startDiagnosticSession). Parametreiksi tässä tapauksessa asetetaan LID, joka on standardissa määritetty vastaamaan avattavan istunnon tyyppiä. Esimerkiksi ohjainlaitetta ohjelmoitaessa, LID:n arvoksi asetetaan 0x86. Positiivisen vastauksen saadessaan, ohjainlaite lähettäisi määrittelyn mukaisen pyynnön. Negatiiviseen vastaukseen liittyvästä palvelun vikakoodista voisi päätellä virheellisen pyynnön syyn. [14]

Kun KWP2000-protokollaa käytetään datansiirtokerroksen kanssa joka vaatii protokollan määrittämää maksimia lyhyemmät datakehykset, täytyy alkuperäinen kehys jakaa osiin. Esimerkiksi ISO 15765 standardi määrittää tavan käyttää KWP2000-protokollaa CAN-väylän yli. Data segmentoidaan CAN-kehyksiin standardin määrittelemällä tavalla. [33]

4.1.2 Valmistajakohtaiset rajapinnat

Standardoinnin puute työkonemootoreiden valmistajilla on aiheuttanut myös hajaanusta sovellusrajapinnoissa. Eri valmistajat ovat yleensä käyttäneet jotakin standardoitua laitteistorajapintaa, mutta ohjelmistorajapinta on voinut olla mielivaltainen ja standardoimaton. Näin ollen eri valmistajien diagnostiikkaohjelmistot eivät ole olleet yhteensopivia.

Esimerkiksi Agco Powerin ensimmäinen diagnostiikkaohjelmisto käytti standardin mukaista RS-232-sarjaporttia, mutta protokolla oli valmistajakohtainen, ja ASCII (American Standard Code for Information Exchange) -pohjainen. Nykyisten diagnostiikkaprotokollien tapaan tiedonsiirto perustui kysely- ja vastauspariin, mutta itse viestit eivät olleet yhteensopivia muiden valmistajien kanssa, vaan olivat täysin valmistajan määrittelemiä. [22]

4.2 Nykyiset rajapinnat

Nykyisillä rajapinnoilla viitataan niihin ohjelmistorajapintoihin jotka ovat vielä nykyään aktiivisessa käytössä ja kehityksessä ajoneuvoteollisuudessa. Tässä osiossa keskitytään niihin rajapintoihin joita käytetään työkonemootoreiden ajoneuvoissa ja jotka ovat tämän työn kannalta oleellisia.

4.2.1 J1939

J1939:n kehitys alkoi Yhdysvalloissa Society of Automotive Engineers, eli SAE:n, tarpeesta luoda nopea tiedonsiirtoväylä erityisesti raskaisiin ajoneuvoihin. Standardi on

ISO/OSI Reference Model (Layers)	Network management	J1939–81
	Application	J1939–71 73 74 75
	Presentation	J1939–6x
	Session	J1939–5x
	Transport	J1939–4x
	Network	J1939–31
	Data-link	J1939–21
	Physical	J1939–11 13 15

saavuttanut suuren suosion myös tämän segmentin ulkopuolella löytäen tiensä niin merenkulkuteollisuuteen kuin myös teollisuusautomaatioon. J1939 on pituudeltaan yli 1600 sivua ja kattaa koko OSI-mallin kuvan 17 mukaan, ja lisäksi vielä erillisen verkon hallintaan liittyvän standardin J1939-81. Jokaista OSI-mallin tasoa vastaa kuvan 17 mukainen tietty dokumentaatioryhmä. Osa protokollasta on määritelty takautuvasti yhteensopivaksi RS485-pohjaisten pro-

Kuva 17: J1939-standardit OSI-mallin mukaan [34]

tokollien kanssa. [18, 34]

Fyysisen rajapinnan J1939-protokollassa toteuttaa CAN2.0B. Se valittiin käyttöön laajan suosion ja vikasietoisuutensa takia. J1939:n vaatimuksena ovat laajennetut, 29-bittiset CAN-ID kentät osoitteistamista varten. J1939 määrittelee kaikki väylällä olevat laitteet sähköisiksi ohjainyksiköiksi, eli ECU:ksi. CAN-määrittelyn perusteella näitä laitteita voidaan kutsua myös solmuiksi (engl: node). Jokaisella ECU:lla on nimi ja vähintään yksi osoite. Laitteilla voi myös olla useita osoitteita käyttötarkoituksesta riippuen. Määrittelyn mukaan liikenne väylällä voi olla kohdistettu kaikille väylän laitteille tai osoitettu vain tietylle laitteelle. Laitteen nimet ovat 64-bittisiä merkkijonoja ja osoitteet 8-bittisiä tunnisteita. Väylän nopeudeksi on määritetty 250 kb/s ja näin ollen maksimipituudeksi 40 metriä. [34]

J1939 määrittelee viestit parametriryhmiin (PGN) ja parametrinumeroihin (SPN). Näin ollen se määrittelee vastaavasti CAN-viestien ID:n ja datan sisällön. Parameteriryhmämäärittely mahdollistaa sen, että eri solmut jotka lähettävät samantyyppistä dataa, esittävät sen samalla tavalla. Toisin sanoen, parametriryhmä määrittelee kehyksen datan sisällön. Parametrinumber taas määrittelee, miten parametriryhmän data esitetään. Parametrinumber ei ole sidottu parametriryhmiin, vaan sama numero voi esiintyä useassa eri viestissä. Esimerkiksi moottorin nopeus on määritetty paramteriryhmässä EEC1 (0xF004) tietyllä parametrinumerolla (0xBE) ja tietyssä positiossa CAN-viestin datakentässä.

PGN 61444		Electronic Engine Controller 1		EEC1
Engine related parameters				
Transmission Repetition Rate:		engine speed dependent		
Data Length:		8		
Extended Data Page:		0		
Data Page:		0		
PDU Format:		240		
PDU Specific:		4	PGN Supporting Information:	
Default Priority:		3		
Parameter Group Number:		61444 (0x00F004)		
Start Position	Length	Parameter Name		SPN
1.1	4 bits	Engine Torque Mode		899
1.5	4 bits	Actual Engine - Percent Torque High Resolution		4154
2	1 byte	Driver's Demand Engine - Percent Torque		512
3	1 byte	Actual Engine - Percent Torque		513
4-5	2 bytes	Engine Speed		190
6	1 byte	Source Address of Controlling Device for Engine Control		1483
7.1	4 bits	Engine Starter Mode		1675
8	1 byte	Engine Demand – Percent Torque		2432

Kuva 18: Parametriryhmämäärittely (EEC1) [35]

Kuva 18 esittää edellisen kappaleen esimerkissä käytetyn EEC1-viestin määrittelyn. Määrittelystä selviää yleiskuvaus viestin käyttötarkoitukselle, lähetystaajuus, datan pituus ja muut tarvittavat tiedot. Datakentän sisältämä data on määritetty positioittain ku-

SPN 190 Engine Speed

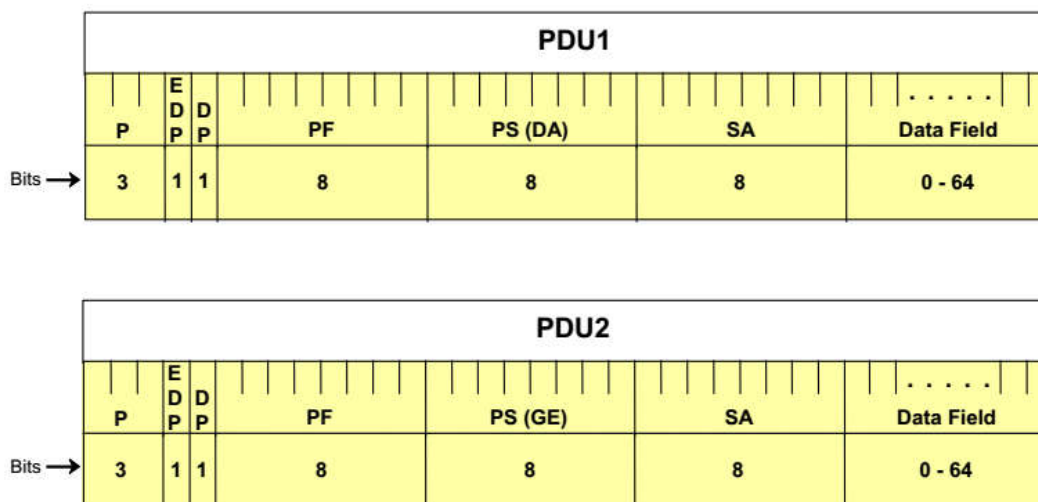
Actual engine speed which is calculated over a minimum crankshaft angle of 720 degrees divided by the number of cylinders.

Data Length: 2 bytes
 Resolution: 0.125 rpm/bit, 0 offset
 Data Range: 0 to 8,031.875 rpm
 Type: Measured
 Supporting Information:
 PGN reference: 61444

Operational Range: same as data range

Kuva 19: Parametrinumeromäärittely (Moottorin nopeus) [35]

van 18 alimmissa riveissä. Jokaisen position tarkempi määrittely tehdään parametrinumerolla. Esimerkin positiossa moottorin pyörintänopeuden lukeminen tapahtuisin parametrinumeron 190 määrittelyn mukaan kuten kuva 19 näyttää. Kaikki laitteet, jotka haluavat lähettää muille laitteille tietoa pyörimisnopeudestaan siis käyttävät tätä viestiä tai vaihtoehtoisesti jotain muuta viestiä, jossa sama parametrinumero on määritetty. Samoin laitteet, jotka tarvitsevat tämän tiedon, voivat sen lukea standardin määrittelemässä muodossa. Tämä koskee kaikkea kommunikaatiota niin laitteen sisällä kuin sen ulkopuolella. [35]



Definitions: P is Priority, EDP is Extended Data Page, DP is Data Page, PF is PDU Format, PS is PDU Specific, DA is Destination Address, GE is Group Extension, and SA is Source Address

Kuva 20: SAE J1939-kehysformaattit [35]

Yhden datakehysen J1939-protokollassa määrittelee protokolladatayksikkö, eli PDU. Kehyksen pituus on sama kuin CAN-kehyksellä. PDU-tyyppejä on kaksi, jotka on esitetty kuvassa 20.

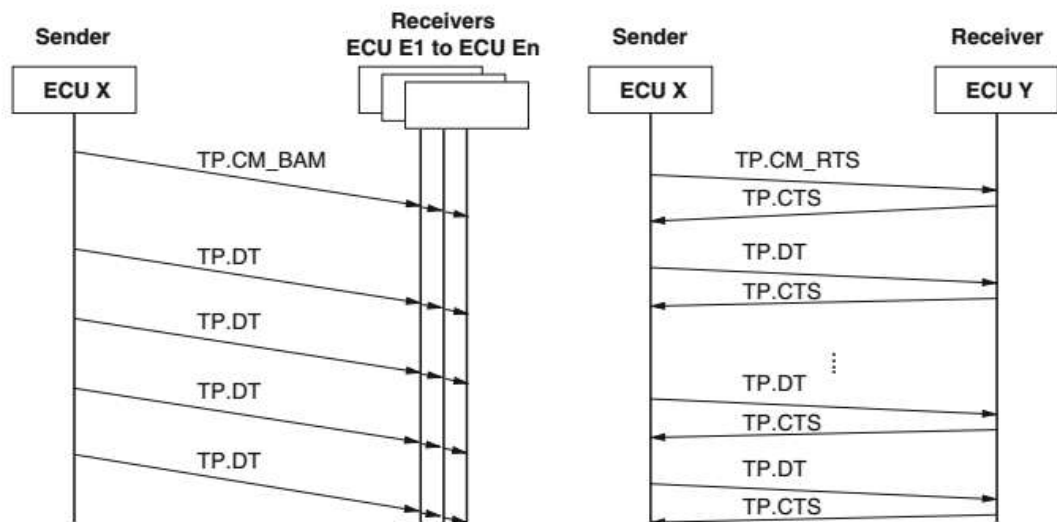
Kehysten rakenne on seuraava:

1. P Priority. 3bittiä. Kehyksen prioriteetti.

2. EDP / DP (Extended) Data Page. Määrittelee J1939 sivun eli laajentaa PGN-osoiteavaruuden.
3. PF eli PDU Format. Määrittelee PDU:n tyyppin. Jos arvo on < 238 , niin kehys on tarkoitettu tietylle vastaanottajalle ja sisältää vastaanottajan osoitteen kentässä 4. Arvon ollessa 239 kyseessä on valmistajan määrittämä kenttä. Kummassakin tapauksessa käytettävä muoto on PDU1. Jos arvo on > 240 , on kyseessä yleislähetys eli PDU2 ja kentässä 4 on ryhmän osoitelaajennustunnus.
4. PS PDU Specific. Tämän kentän sisällön määrittelee kohta 3.
5. SA Source Address. Lähettäjän uniikki osoite.
6. Data Field. Kehyksen sisältämä data.

PGN koostuu kehysten, PF- ja PS-kenttien yhdistetystä datasta. Jos PGN:n määritelmän mukainen data on korkeintaan 8-tavua, voidaan se siirtää yhdessä kehyksessä. Jos dataa on enemmän, täytyy datan siirtoon käyttää J1939:n määrittelemää siirtoprotokollaa. Siirtoprotokollassa ensimmäinen datakentän tavu on varattu kehysten sekvenssinumerolle, joten jokaisen kehysten sisältäessä 7 tavua dataa maksimidatamääräksi on määritetty 1785 tavua. Kuten PDU-tyypit, voidaan siirtoprotokollan mukaiset kehukset osoittaa joko yhdelle tai monelle vastaanottajalle. Tässä tapauksessa määrittely kuitenkin tapahtuu tarkastelemalla viestin sisältöä PDU-format kentän sijaan. Siirtoprotokolla määrittelee kaksi eri PGN-numeroa ja viestityyppiä; Connection Management (TP.CM), PGN 0xEC00 ja Data Transfer (TP.DT), PGN 0xEB00. Näistä ensimmäisellä viestillä hallitaan itse laitteiden välistä liikennettä, ja toisella taas siirretään välitettävä data. [14]

Kuva 21 esittää kaksi eri siirtotyyppiä ja niiden välittämät kehukset. Vasemmalla ole-



Kuva 21: J1939-siirtoprotokollatyyppi ja sekvenssi [34]

vassa kuvassa tieto välitetään useammalle eri laitteelle väylällä, jolloin tiedon välittäminen aloitetaan lähettämällä väylälle ilmoitus tulevasta yleislähetyksestä. Tämän jälkeen data lähetetään käyttämällä siirtoyhteyserroksen määrittelemää kehystä kasvattaen sekvenssinumeroa. Yleislähetyksessä mikään laite ei kuittaa paketteja vaan toimivat vain vastaanottajina. Kuvan oikealla puolella lähetys on kahden eri laitteen välinen, jolloin lähettäminen käynnistetään kättelyperiaatteella, jossa lähettäjä pyytää vastaanottajaa valmistautumaan vastaanottoon. Kun vastaanottaja kuittaa valmiuden, lähetetään data kehys kerrallaan vastaanottajan kuitatessa jokaisen kehyksen. [34, 35]

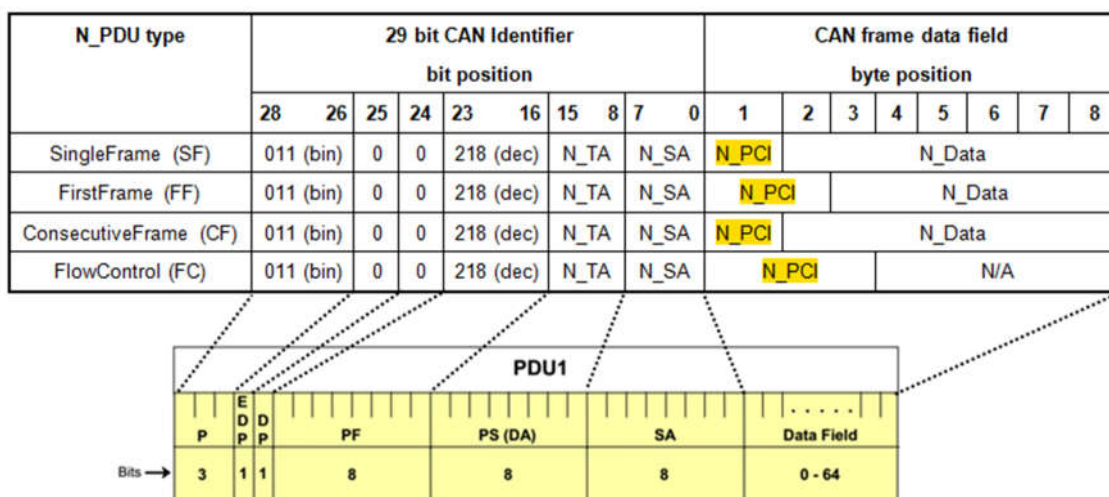
Diagnostiikan kannalta tärkein J1939 ominaisuus on vikakoodimääritykset ja niiden välittäminen muille väylällä oleville laitteille. J1939 määrittelee yhteensä lähes 60 diagnostiisiin tilanteisiin liittyvää viestiä (Diagnostic Message, DMx). Koska näiden kaikkien läpikäyminen ei ole mielekästä, on tässä luotu katsaus vain kahteen yleisimmin käytettyyn viestiin, DM1 ja DM2. DM1 viesti määrittelee nykyisellä ajan hetkellä aktiivisena olevat vikakoodit ja DM2 sitä edeltävällä ajalla aktiivisena olleet vikakoodit. Näin ollen nämä kaksi viestiä tarjoavat kuvan järjestelmän diagnostisesta tilanteesta. [35]

Vikakoodi, eli DTC, koostuu neljästä eri kentästä.

1. Suspect Parameter Number, SPN, määrittelee mitä laitetta tai parametria vika koskee.
2. Failure Mode Identifier, FMI, määrittelee vian tyypin.
3. Occurence Count, OC, määrittelee, montako kertaa vika on toistunut ennen vian nollaamista.
4. SPN Conversion Method

Kuten parametrimumerot, myös vikatyypinumerot on määritelty standardin dokumentissa J1939-73. Näin ollen kaikki laitteet jotka raportoivat samantyyppisestä viasta, käyttävät samaa määritettyä numeroa. DM1- viesti sisältää vikakooditiedon lisäksi tiedon käyttäjälle näytettävistä kojetaulun varoitusvaloista. Näin ollen esimerkiksi mittaristo voi välittää tiedon moottorin vikatilanteesta yksinkertaisesti sytyttämällä tähän tarkoitetun vikavalon. [35]

J1939 on osittain yhteensopiva myös ISO 15765 -siirtoprotokollan kanssa ja toisin päin. J1939 varaa tietyt PGN-numerot käyttöön ISO 15765 kanssa, joten ISO 15765 -protokollan käyttö diagnostiseen kommunikaatioon laitteiden kanssa on mahdollista väylällä joka muuhun kommunikointiin käyttää J1939-standardin mukaista viestintää. Esimerkiksi PGN-numerot 0xDA00 ja 0xDB00 ovat J1939-standardissa varattu ISO -protokollan käyttöön. ISO 15765 taas määrittelee CAN-tunnistekentän siten, että se vastaa J1939-standardin tiettyä PGN-numeroa, tässä tapauksissa edellä esitettyjä. Ensinnä mainittu PGN 0xDA00 on käytössä silloin, kun käytetään fyysisiä CAN-osoitteita, ja jälkimmäinen käyttäessä funktionaalisia osoitteita. Kuten kuva 22 esittää, ISO 15765-



Kuva 22: Suhde ISO 15765- ja J1939-kehiksen välillä. [14, 35]

kehys voidaan tulkita myös J1939-kehiksenä määrittelyn mukaan. [14, 35] Tämä ominaisuus on eri laitteiden yhteensopivuuden kannalta erittäin kriittinen. Lisäksi se tarjoaa mahdollisuuden suorittaa jollekin väylällä olevalle ohjaimelle tarkempaa diagnostiikkaa, sillä ISO 15765 tarjoaa rajapinnan useimpiin laitteen sisäisiin diagnostisiin palveluihin. [10, 13]

4.2.2 ISOBUS

Tämä aliluku perustuu lähteisiin [18, 36].

Isobus on käytännössä ISO-standardin mukainen määrittely J1939-protokollasta tietyin tarkennuksin. Sen on kehittänyt saksalaisen koneen- ja laiterakennusteollisuuden liitto ja sen ISO-standardin määrittelee 11783. Kuten J1939, määrittelee ISO 11783 myös OSI-mallin mukaiset eri kerrokset fyysisestä sovelluksesta. Suurimmat erot J1939 määrittelykseen on selitetty tässä aliluvussa.

Sähköisesti Isobus noudattaa perinteistä CAN-väylää. Ainoat erot J1939:n fyysisessä rakenteessa ovat, että vaatimuksena on myös käyttöjännitteen kuljettaminen liittimissä ja johtimissa. Näin ollen Isobus-yhteys vaatii aina 2-parisen kaapelin, joista toisessa parissa kulkee käyttöjännite ja toisessa data. Lisäksi väylä on terminoitava väylän päissä aktiivisella terminointilaitteella (Terminating Bias Circuit), joka vakauttaa väylän siinäkin tapauksessa, että väylälle ei ole kytketty yhtään toimilaitetta. Näin ollen tämän terminointilaitteen on oltava kokonaan erillinen väylän muista laitteista.

Isobus -standardi erottelee ajoneuvon sisäisen ja ulkoisen verkon traktori- ja työkoniverkoiksi. Traktoriverkon tarkoitus on toimia yhdyskäytävänä traktorin voimansiirron ja voimanhallintalaitteiden välillä. Työkoneverkon tarkoitus on toimia yhdyskäytävänä traktorin ja eri ulkoisesti kytkettävien laitteiden välillä. Standardi mahdollistaa myös erilaisten verkkojen yhdistämisen verkkosillan (Network Interconnect Unit) avulla.

Kahden edellä mainitun verkon yhdistämiseen tulee aina käyttää laitetta joka varmistaa niiden sähköisen ja viestinnällisen erotuksen.

Verkossa on myös aina tietyt ohjainlaitteet joiden funktiot on määritetty niiden toiminnallisuuden mukaan. Käyttäjän käyttöliittymän tarjoavaan laitteeseen viitataan termillä virtuaaliterminaali, VT. VT on käytännössä ohjainlaite (ECU), jonka tarkoitus on välittää työkoneverkon viestit käyttäjälle. Traktoriverkon ja työkoneverkon välissä käytetään omaa ohjainlaitetta, Traktori-ECU:a (Tractor ECU). Sen tehtävänä on välittää ja tarvittaessa muuntaa toiselta väylältä tulevat viestit oikeaan muotoon, jotta kummallakin väylällä olevat laitteet voivat kommunikoida keskenään. Muita ohjainlaitteita ovat tehtäväohjain (Task Controlle), työkoneohjain (Interconnect ECU) ja apuohjain (AUX). Näiden tehtävät ja toiminnallinen kuvaus on määritetty standardissa.

Diagnostiikan osalta Isobus noudattaa J1939:n kanssa käytännössä samaa määrittystä. Vikatilanteiden ilmoittaminen tehdään diagnostiikkaviesteillä ja vioille ja vikatilanteille on määritettyä omat SPN- ja FMI -numerot.

5. DIAGNOSTIIKKARAJAPINNAN SUUNNITTELU

Aikaisemmin työkonedieselmoottorin rajapintojen suunnittelussa ei ole tarvinnut huomioida lakien asettamia vaatimuksia, joten valmistajat ovat voineet suunnitella tarvittavat rajapinnat käyttötapausten ja omien mieltymystensä mukaan. Asiaan on kuitenkin tulossa muutos Euroopan lainsäädännön puitteissa. Näin ollen lakivaatimus asettaa itse asiassa rajat niille protokollille joita diagnostiikkarajapinnoissa voidaan käyttää. On kuitenkin valmistajakohtainen asia valita tarjolla olevista rajapinnoista se, joka parhaiten täyttää vaatimukset tietyissä käyttöolosuhteissa.

Rajapintasuunnittelu jakautuu kahteen eri osaan johtuen kahden eri laitteistovaatimuksen määrittelyistä. Koska tuleva lainsäädäntö tulee koskemaan myös tällä hetkellä tuotannossa olevia moottoreita ja moottoriohjaimia, nykyisen laitteiston on kyettävä täyttämään lakivaatimukset ilman, että laitteistorajapinta muuttuu. Toisaalta tulevaisuuden tuotteissa laitteistorajapintaa ei ole vielä kiinteästi määritelty, joten tutkimustyö määrittelyn osalta koskee kaikkia käytettävissä olevia laitteisto- ja ohjelmistorajapintavaihtoehtoja.

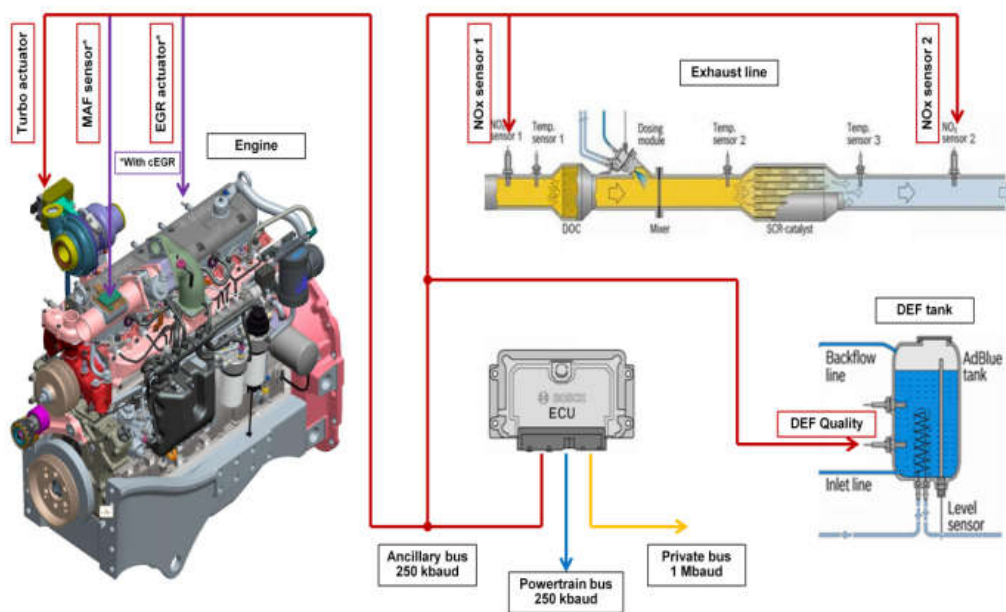
Tämä luku alkaa vaatimusmäärittelyllä eli niiden ulkoisten rajoitusten määrittelyllä, joita rajapintasuunnittelussa on noudatettava. Rajoituksia asettavat lakien lisäksi käytössä oleva laitteisto, kuten moottoriohjain ja tarvittavat ulkoiset toimilaitteet. Moottoriohjaimen valinta on tehty moottorin kokonaistoiminnallisuutta ajatellen, joten diagnostiikan laitteistorajapinta rajoittuu jo valitun ohjaimen käytössä oleviin toimintoihin. Vaatimusmäärittely koskee myös diagnostisia käyttötapauksia. Toisin sanoen on mielekästä pohtia ensin käyttötapausten eri vaatimukset, ja vasta sen jälkeen tarkastella käytössä olevia protokollia ja valita niistä soveltuvimmat eri käyttötapauksiin.

Nykylaitteistosta puhuttaess, laitteistolla tarkoitetaan Agco Power Stage 4 Final ja Stage 5 -päästönormit täyttäviä dieselmoottoriperheitä. Tulevaisuuden laitteistolla tarkoitetaan taas mahdollisia tulevia moottoriperheitä, jotka ovat vielä tuotekehitysvaiheessa ja joiden laitteisto- ja ohjelmistorajapintamäärittely on vielä kesken. Näiden moottoreiden kohdalla rajapintamäärittely voidaan tehdä paljon vapaammin käyttäen hyödyksi tekniikoita jotka ovat vasta saapumassa markkinoille. Näiden tekniikoiden voidaan kuitenkin olettaa olevan joitakin valmiiksi standardoituja väylätekniikoita, koska lakivaatimukset niiden suhteen ovat myös kiristyneet. Lisäksi toimintaympäristön kriittisyys ajoneuvo-tekniikassa asettaa rajoituksia uusien standardoimattomien väylien käytölle.

5.1 Laitteistomäärittely

Tässä työssä mahdolliset käytettävät laitteistorajapinnat rajoittautuvat moottoriohjaimen tarjoamiin rajapintoihin. Laitteistomäärittely jakautuu kahteen osaan. Ensimmäisenä on nykyisissä moottoreissa käytetty laitteisto, ja toisena tulevaisuuden mahdollinen laitteisto.

Nykylaitteiston pohjana Bosch EDC17 -perheen moottoriohjain EDC17CV41. Ohjain tarjoaa käyttöön useita eri CAN-väyliä. Näistä kolme eri CAN-väylää on määritetty käyttöön tässä tapauksessa. Näistä väylistä kaksi on nopeudeltaan 250 kb/s ja niistä ensimmäinen tarjoaa liityntärajapinnan ajoneuvolle (drivetrain) ja toinen moottorin ulkoisille toimilaitteille ja jälkikäsittelylaitteistolle (ancillary). Kolmas väylä on nopeudeltaan 1Mbit/s ja sen tarkoitus on tarjota nopea rajapinta moottoriohjelmistojen lataukseen (private bus). Lisäksi tämän väylän yli voidaan käyttää protokollia, jotka vaativat pientä latenssia ja ovat kriittisiä väyläkuormalle. Kuva 23 esittää nykylaitteiston mukaisen väylätopologian, jossa kolme eri CAN-väylää on jaettu käyttötarkoituksen mukaisesti.



Kuva 23: Agco Power Stage 4 Final -moottorin väylätopologia [37]

Tulevan laitteiston pohjana oleva moottoriohjain on vielä avoin, mutta sen voidaan olettaa sisältävän edellä mainittujen väylien lisäksi ainakin suurnopeuksisen CAN-väylän (CAN FD) ja tuen Automotive Ethernetille. Koska nämä väylät ovat jokseenkin erilaisia verkkokerroksen osalta, on nykylaitteiston protokollat voitava tarvittaessa sovittaa myös näillä väylillä toimiviksi. Kummankaan uuden väylän tapauksessa kaapelointia ei välttämättä tarvitse muuttaa, sillä ne käyttävät kierrettyä parikaapelia, kuten vanhempi CAN-väylä. FD-CAN on lisäksi taaksepäin yhteensopiva vanhemman standardin kanssa, kunhan koko laitteisto tukee uudempaa protokollaa. Ethernetin tapauksessa laitteistosta on tietenkin tuettava tätä, eikä taaksepäin yhteensopivuutta ole.

5.2 Lakivaatimukset ja määräykset EU-alueella

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 167/2013 määrää maa ja metsätaloudessa käytettävien ajoneuvojen diagnostiikalle tiettyjä vaatimuksia. 1.1.2016 ja sen jälkeen tyyppihyväksytyjen ajoneuvojen on EU:n markkina-alueella noudatettava tiettyjä säädöksiä sen suhteen, miten diagnostiikkatiedot on saatettava riippumattomien toimijoiden saataville. Tilanne on haastava, sillä direktiivit ovat aina tulkinnanvaraisia. Siispä tässä kerätyt kohdat ovat sitaatteja direktiivistä siltä osin, kuin ne vaikuttavat rajapintojen suunnitteluun.

Riippumaton toimija määritetään artiklassa 3 seuraavasti:

”’riippumattomalla toimijalla’ tarkoitetaan sellaisia muita yrityksiä kuin valtuutettuja jälleenmyyjiä ja korjaamoja, jotka osallistuvat suoraan tai välillisesti ajoneuvojen korjaukseen ja huoltoon, erityisesti korjaamoja, korjauslaitteiden tai -työkalujen tai varaosien valmistajia tai jälleenmyyjiä, teknisten tietojen julkaisijoita, autoliittoja, tiepalvelujen tarjoajia, tarkastus- ja testauspalvelujen tarjoajia sekä yrityksiä, jotka tarjoavat koulutuspalveluja vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävien ajoneuvojen varusteita asentaville, valmistaville ja korjaaville yrityksille;” [20]

Artikla 53, kohta 1 määrittelee saatavan tiedon:

”Valmistajan on tarjottava ajoneuvon korjaamiseen ja huoltamiseen tarvittavat tiedot syrjimättömästi valtuutettujen jälleenmyyjien, korjaamojen ja riippumattomien toimijoiden käyttöön vakimuodossa verkkosivustoilla, joilla ne ovat saatavilla vaivattomasti ja nopeasti. Tätä velvoitetta ei sovelleta, jos ajoneuvo on saanut piensarjahyväksynnän.” [20]

Asetus koskee siis muun muassa kytkentäkaavioita (laitteistorajapintoja), vianmäärityskoodeja ja uudelleenohjelmointiin tarvittavia protokollia.

Euroopan komission delegoitu asetus 1322/2014 tekee alkuperäiseen asetukseen lisäyksiä käytettyjen protokollien ja laitteistorajapintojen suhteen. Uudelleenohjelmointia koskee seuraava asetus:

”Uudelleenohjelmointi on tehtävä standardien ISO 22900-2, SAE J2534 tai TMC RP1210 vaatimusten mukaisesti viimeistään 1.1.2018 alkaen; määräaika on 1.1.2020 R- ja S-luokan ajoneuvojen valmistajille, T- ja C-luokan ajoneuvojen valmistajille, jos kyseisten ajoneuvojen tuotanto ei ylitä tämän liitteen 6.1 kohdassa vahvistettuja rajoja, järjestelmien, komponenttien ja erillisten teknisten yksiköiden valmistajille, jos kyseinen tuotanto ei ylitä tämän liitteen 6.1 kohdassa vahvistettuja rajoja.” [38]

Asetus määrittelee myös käytettävän, diagnostisen laitteisto- ja ohjelmistoprotokollan seuraavasti:

”Ajoneuvon sisäisen viestinnän ja ECU-yksiköiden ja vianmäärittäsvälineiden välisen viestinnän varmistamiseksi on sovellettava seuraavia standardeja: SAE J1939, ISO 11783, ISO 14229 tai ISO 27145. Standardia ISO 27145 on sovellettava yhdessä joko standardin ISO 15765-4 tai standardin ISO 13400 kanssa.” [38]

Vaikka vaatimuksissa ei viitata suoraan moottorivalmistajaan, on vaikutus välillinen. Asetuksen mukaan kaikki tarvittava huolto- ja diagnostiikkatieto koneesta on oltava saatavana, ja näin ollen myös moottorin diagnostiikkaa koskevat tiedot on jaettava. Käytännössä määräys tarkoittaa, että ainakin yksi yllä olevista protokollista on toteutettava huolimatta siitä, onko se muun laitteiston kannalta tarpeellinen.

5.3 Rajapintavaatimukset käyttötapauksittain

Rajapinnan määrittelyyn vaikuttaa kriittisesti myös käyttötapaus. Määrittelyssä on otettava huomioon ensinnäkin diagnostiikkatiedon käyttäjä, mutta myös tarkastelun taso. Jos käyttäjänä on henkilö, on tieto esitettävä aina ihmisluettavassa muodossa. Tällainen tiedon esittäminen tapahtuu yleisesti jonkin ulkoisen diagnostiikkatyökalun avulla. Koneellisessa muodossa oleva data, esimerkiksi suoraan laitteen väylältä luettava diagnostiikkatieto, on käytettävissä minkä tahansa samaa standardia noudattavassa laitteessa. Tarkastelun tasolla tarkoitetaan, kuinka tarkkaa informaatiota diagnostiikkatiedon käyttäjälle tulee tarjota. Jos käyttäjänä on laite, jonka tarkoitus on vain raportoida viasta, voi yksinkertaisimmillaan vian olemassaolon toteaminen riittää. Jos taas jonkin ulkoisen laitteen on voitava reagoida spesifiseen vikaan, on diagnostiikkatiedon sisällettävä myös tietoa diagnosoitavan laitteen toiminnasta. Valittu protokolla määrittää usein, mitä tietoa laitteesta voidaan esittää, joten protokolla ja rajapinta on määriteltävä käyttötapauksen mukaan.

Itse ohjainlaitteen ja moottoriohjelmiston kehitys jää tämän alueen ulkopuolelle, koska jo pelkkien kehitysrajapintojen määrittely on kokonaan oma aiheensa. Näin ollen tämän työn rajapintamäärittely keskittyy tilanteisiin, joissa moottorin voidaan olettaa jo olevan sellaisessa toimintatilassa, että sille voidaan suorittaa peruskalibrointi. Rajapintamäärittely keskittyy täten nimenomaan moottorin ja ajoneuvon kehitys- ja käytönaikaiseen määrittelyyn.

5.3.1 Peruskehitys ja testaus dynamometrillä

Peruskehityksellä viitataan tilanteeseen, jossa uuden moottorin tai moottoriperheen ensimmäiset kalibroinnit tehdään. Peruskehitys sisältää polttoaineen määrän säädön vaaditun tehon saavuttamiseksi, mutta myös usein jälkikäsitteilylaitteistoon liittyvien komponenttien kalibrointia. Tällaisessa tilanteessa moottori on kytkettynä testisoluun ja sen elektroniikkaan laboratorio-olosuhteissa. Diagnostiikkarajapinnan tulee tarjota mahdollisimman tarkkaa tietoa laitteen diagnostisesta tilasta. Tiedon on käytännössä oltava re-

aaliaikaista, ja käyttäjällä on oltava pääsy kaikkiin moottoriohjaimen toimintoihin kuten moottoriohjaimen parametrien muuttamiseen ja ohjelmiston päivitykseen.

5.3.2 Prototyyppiajoneuvokehitys

Peruskehitysvaiheen jälkeen moottori kalibroidaan asiakas- ja ajoneuvoکوhtaaisesti, ja tässä käyttötapauksessa vaatimukset ovat periaatteellisesti samat kuin peruskehityksessä ja jarruajossa. Prototyyppiajoneuvokehitykseen liittyvät kuitenkin läheisesti myös ajoneuvon tarpeet. Tämä tarkoittaa asiakaskohtaisen rajapinnan määrittelyä sähköisesti, mutta myös ohjelmistollisesti. Ensimmäinen kalibrointivaihe tapahtuu samoissa olosuhteissa kuin peruskehitys. Moottori on siis kytkettynä testisolun elektroniikkaan.

Toisessa vaiheessa moottori on kytkettynä prototyyppiajoneuvoon ja rajapinnan on edellisten asioiden lisäksi tarjottava liityntä myös ajoneuvolle. Ajoneuvokehityksessä itse ajoneuvon käyttöliittymän on voitava näyttää tietty määrä diagnostiikkaa käyttäjälle mittariston tai muun käyttöliittymän avulla. Tässä vaiheessa on usein tarpeen kuitenkin tehdä joitakin säätöjä moottorin peruskalibrointiin. Jos kyseessä on kalibrointi, joka voidaan tehdä ilman prototyyppiajoneuvoa, niin kalibrointi voidaan tehdä laboratoriossa ja moottoriohjelmisto päivittää ajoneuvossa olevaan moottorin. Jos taas kyseessä on kalibrointi, joka edellyttää ajoneuvoon kytkeytymistä, on diagnostiikkarajapinnan tarjottava tarvittavat palvelut kalibrointia suorittavalle henkilölle. Tällaisia tilanteita ovat muun muassa moottorin nopeussäätimen ja vasteen sovittaminen tiettyyn vaihteiston määrittelyyn.

5.3.3 Tuotannon vaatimukset ja huolto

Tuotannon vaatimukset liittyvät moottorin ohjelmointiin moottorivalmistuksessa, mutta myös ajoneuvovalmistuksessa, jos moottorin ohjelmisto päivitetään ajoneuvovalmistajan linjalla. Moottorivalmistuksessa koekäyttö suoritetaan viimeisenä vaiheena ennen moottorin maalausta. Moottoriin ladataan siihen osaluettelon perusteella määrätty ohjelmisto, jonka jälkeen moottorin koekäytetään. Lisäksi koekäytettäessä moottoria kaikki jälkikäsitteilylaitteet eivät välttämättä ole kytkettyjä, joten ylimääräiset diagnostiset funktiot on voitava kytkeä pois päältä koekäytön ajaksi. Tuotantolinjan osalta on tärkeää, että moottoriohjelmiston päivitys tapahtuu mahdollisimman nopeasti, eikä linjalle synny häiriötekijöitä epäonnistuneen ohjelmistopäivityksen seurauksena.

5.3.4 Kolmannet osapuolet

Edellä mainittujen käyttötapauksien lisäksi lakivaatimukset edellyttävät, että rajapintojen on oltava yhteensopivia myös kolmannen osapuolen työkalujen kanssa. Tämä vaatimus pakottaa valmistajia valitsemaan toteutukseen ainakin yhden sellaisen protokollan joka

on vaatimusten mukainen, huolimatta siitä, onko sille käyttöympäristössä mitään muuta perustetta.

5.3.5 Ajoneuvon sisäinen kommunikaatio

Ajoneuvon sisäisten moduulien on myös saatava tietoa moottorin diagnostisesta tilasta. Selkein esimerkki tällaisesta on ajoneuvon mittaristo, jonka on kyettävä näyttämään käyttäjälle reaaliaikaista tietoa moottorin toiminnasta. Ajoneuvossa voi olla myös muita laitteita, jotka voivat sopeuttaa toimintansa moottorin diagnostisen tilan mukaan. Yksi esimerkki tällaisesta on vaihteiston ohjain. Ohjaimen toiminta saattaa muuttua sen suhteen, kuinka paljon tehoa moottorista voidaan kullakin hetkellä käyttää. Esimerkiksi moottorin tehoa rajoittavan vian ilmaantuessa on vaihteiston voitava reagoida tilanteeseen esimerkiksi välitystä pienentämällä.

5.4 Tutkitut protokollat

Tämä luku esittelee sellaiset uudet protokollat, joita voidaan pitää soveltuvina vaihtoehtoina edellä esiteltyihin käyttötilanteisiin. Vaikka lakimääritykset tarjoavatkin useita vaihtoehtoja protokollille, on tässä luvussa esitelty niistä työkonedieselmootoreihin sopivimmat ottaen huomioon ne vaatimusmäärittelyt, jotka on esitelty edellisissä luvuissa. Lisäksi on harkittava, mikä onärkevin tapa siirtyä vanhoista protokollista uudempiin mahdollisimman sujuvasti. Yhteensopivuuden säilyttäminen vanhojen protokollien kanssa sen ollessa ylipäättänsä mahdollista, rajaa automaattisesti pois ne, jotka eivät voi toimia nykyisten väyläratkaisujen kanssa. Jos esimerkiksi diagnostiikkaliikenteen halutaan pysyvän jo jollakin ajoneuvon käytössä olevalla väylällä jossa on J1939 liikennettä, on diagnostiikkaprotokollan oltava yhteensopiva tämän protokollan kanssa.

5.4.1 UDS

Tämä kappale perustuu UDS-standardiin ISO 14229. [43]

UDS-protokollan (Unified Diagnostic Services) kehitys lähti tarpeesta yhdistää ASAM, SAE ja ISO-määritysten mukaiset diagnostiikkatoiminnot yhden standardin alle. Näiden eri organisaatioiden mukainen määrittely tehtiin standardiin ISO 14229-1. Suuri osa UDS-standardin peruseriaatteista periytyy suoraan KWP2000-protokollasta. Kuten KWP2000-protokolla, myös UDS käyttää siirtoprotokollatasolla ISO 15765 -standardia silloin kun siirtokerroksena on käytössä CAN-väylä. Näin ollen se mahdollistaa siirtymisen KWP2000-protokollasta suhteellisen helposti. Itse asiassa siirtokerros CAN-väylää käyttäessä on täysin identtinen, mutta sovellustasolla ISO 14229-3 korvaa aikaisemman 15765-3 standardin.

Kuten KWP2000, myös UDS-standardi on jaettu OSI-mallin mukaisiin kerroksiin, ja tämän työn kannalta oleelliset dokumentoinnin osat ovat:

Osa 1: Määrittely ja vaatimukset.

Osa 2: Istuntokerroksen määrittelyt.

Osa 3: Unified Diagnostic Services on CAN (UDSonCAN), korvaa siis 15765-3:n.

Osa 5: Unified Diagnostic Services on Internet Protocol.

Osat 4, 6 ja 7 määrittävät vastaavasti FlexRay, K-Line ja LIN rajapinnat, mutta koska nämä väylät eivät ole käytössä tässä työssä käytetyssä moottorinohjaimessa, ei niitä käsitellä.

Applicability	OSI seven layer	Vehicle manufacturer-enhanced diagnostics
Seven layer according to ISO 7498-1 and ISO/IEC 10731	Application (layer 7)	ISO 14229-1/ ISO 14229-5
	Presentation (layer 6)	Vehicle manufacturer specific
	Session (layer 5)	
	Transport (layer 4)	ISO 13400-2
	Network (layer 3)	
	Data link (layer 2)	ISO 13400-3/ IEEE 802.3
	Physical (layer 1)	

Taulukko 3: UDS:n määrittelemät standardit kun fyysisenä kerroksena on Ethernet

Applicability	OSI 7 layers	Vehicle manufacturer enhanced diagnostics
Seven layer according to ISO/IEC 7498-1 and ISO/IEC 10731	Application (layer 7)	ISO 14229-1, ISO/FDIS 14229-3
	Presentation (layer 6)	vehicle manufacturer specific
	Session (layer 5)	
	Transport (layer 4)	ISO 15765-2
	Network (layer 3)	
	Data link (layer 2)	ISO 11898-1, ISO 11898-2, ISO 11898-3, ISO 11898-5
	Physical (layer 1)	

Taulukko 4: UDS:n määrittelemät standardit kun fyysisenä kerroksena on CAN

Taulukko 3 esittää UDS-määrittelyn OSI-mallin mukaisen jaottelun. Sovelluskerros on kummassakin tapauksessa sama, ja määrittely eroaa neljän alimman kerroksen osalta. Siirto ja verkkoyhteyshierarkian määrittely on CAN-väylän tapauksessa ISO 15765-2, kun taas Ethernetin tapauksessa ISO 13400-2, joka määrittelee diagnostiikkakommunikaation Internet-protokollan yli. Datayhteyshierarkia ja fyysinen kerros eroavat myös huomattavasti kahdessa eri tapauksessa. ISO 11898 -määrittely sisältää sekä nopean että hitaan CAN-väylän, mutta myös uudemman CAN-FD -väylän. Ethernetin tapauksessa ISO 13400-3 määrittelee 100Base-TX-standardin mukaisen verkon, mutta toisaalta IEEE 802.3:n optio mahdollistaa myös Automotive Ethernetin (100Base-T1) käytön.

UDS-kehiksen perusyksikkö on PDU joka jakautuu osoitekenttään ja diagnostiseen viestiin. Diagnostinen viesti jakautuu itsessään neljään erilaiseen kehystyyppiin, jotka on esitetty kuvassa 24. Kaksi ensimmäistä näistä sisältävät palvelu-ID numeron, ja siihen

liittyvään määritellyn dataan. Palvelu-ID numero määrittelee sen palvelun joka kyseisessä datakehyksessä on käytössä. Joillakin palvelu-ID numeroilla on vielä siihen liittyvä funktio-ID, joka tarkoittaa kyseessä olevan palvelun toimintoa. Esimerkki tällaisesta on ohjaimen uudelleenkäynnistyspyyntö, jonka funktio-ID voi määrittää uudelleenkäynnistystyypin. Funktio-ID:n erikoisuutena on kentän eniten merkitsevä bitti, jonka tarkoitus on määrittää, odottaako diagnostiikkatyökalu positiivista vastausta ohjaimelta. Bitin ollessa '1' funktio-ID:n osoittama palvelu ei lähetä positiivista kuittausta. Sekä palvelun että funktio-ID:n kenttä on yhden tavun pituinen.

Kolmantena olevaa kehystyyppiä käytetään silloin, kun johonkin pyyntöön odotetaan vastauksena vain dataa. Viimeisenä kehystyyppinä on negatiivinen kuittaus, eli virhekehys. Tämä kehys sisältää negatiivisen vastauskoodin lisäksi sen palvelun ID-numeron jota negatiivinen vastaus koskee. Negatiivinen vastauskoodi määrittelee tarkennuksen palvelussa tapahtuneelle virheelle.

Osoite	Diagnostinen data				
Kehystyyppi:	1	Palvelu ID	Data n	Data n+1	...
	2	Palvelu ID	Funktio ID	Data n+1	...
	3	Data n	Data n+1	Data n+2	...
	4	NACK ID	Palvelu ID	NACK -koodi	

Kuva 24: UDS-kehystyyppit

Osoitekenttä määräytyy käytetyn siirtoprotokollan mukaan. CAN-verkossa osoitekenttä koostuu CAN-viestin ID-osasta ISO 15765:n -määrittelemällä tavalla, ja Ethernet verkossa vastaavasti IP -osoitteista ISO 13400 -standardin mukaan.

Palvelu-ID:t on jaettu kuuteen eri toiminnalliseen yksikköön, joista jokaiseen yksikköön on ryhmitelty funktioita jotka ovat toiminnoiltaan samanlaisia. Toiminnalliset yksiköt ovat:

1. diagnostiikan ja kommunikaation funktionaalinen yksikkö
2. datalähetyksen funktionaalinen yksikkö
3. tallennetun datan funktionaalinen yksikkö
4. sisään- ja ulostulojen ohjausyksikkö
5. etärutiinien hallintayksikkö
6. tiedonlatauksen funktionaalinen yksikkö

Näistä ensimmäinen hallitsee palveluita itse diagnostiseen sessioon liittyen. Näistä funktioista tärkeimpiä ovat itse session hallinta ja enemmän toimintoja sallivien sessioiden todennus. Lisäksi se sisältää tarvittavat määrittelyt ohjaimen uudelleenkäynnistämisen.

Toinen yksikkö sisältää tarvittavat palvelut datan ja muistin lukemiseen ohjaimen muistista. Data voidaan lukea pyyntö- vastausperiaatteella, mutta myös ajastetusti. Lisäksi datan lähetys voidaan määritellä tapahtumaan jonkin tapahtuman laukaisemana. Lukupyynnöt voidaan suorittaa joko ennalta määrättyjen ID-numeroiden (Diagnostic ID, DID) perusteella, tai käyttämällä suoraan tiedettyjä muistiosoitteita. Sama toiminnallisuus koskee myös muistin kirjoittamista.

Tallennetun datan funktionaalinen yksikkö huolehtii diagnostisten vikakoodien lukemisesta ja tyhjentämisestä. Tämän palvelun avulla vikakoodeihin liittyvät tiedot, kuten tieto moottorin toiminnasta vikakoodin ilmentymisen aikana, voidaan lukea ohjaimelta. DTC-koodit koostuvat kolmesta tavusta, joten tämän palvelun avulla yksiselitteisiä vikakoodeja voi näyttää 2^{24} kappaletta. Funktionaalisia osoitteita käyttäen vikakoodit voidaan lukea usealta laitteelta yhtäaikaaisesti.

Neljännän yksikön tarkoituksena on tarjota palvelu, joka ohittaa ohjaimen sisäisen ohjelmiston ja tarjoaa mahdollisuuden lukea anturiarvoja tai asettaa jonkin halutun osoitteen arvo mielivaltaisesti.

Viides yksikkö tarjoaa palvelut erilaisten rutiinien, kuten laitteistotestien ajamiseen. Näitä palveluita voivat moottorin tapauksessa olla erilaiset käyntinopeuksiin perustuvat testit tai jälkikäsitteilylaitteistoon liittyvät puhdistusfunktiot. Palvelun avulla jonkin rutiini voidaan käynnistää tai pysäyttää. Lisäksi rutiinin ajonaikaista statusta voidaan valvoa tämän palvelun avulla.

Kuudes ja viimeinen yksikkö tarjoaa palvelut ohjainten sisäisten muistien lukemiseen ja kirjoittamiseen.

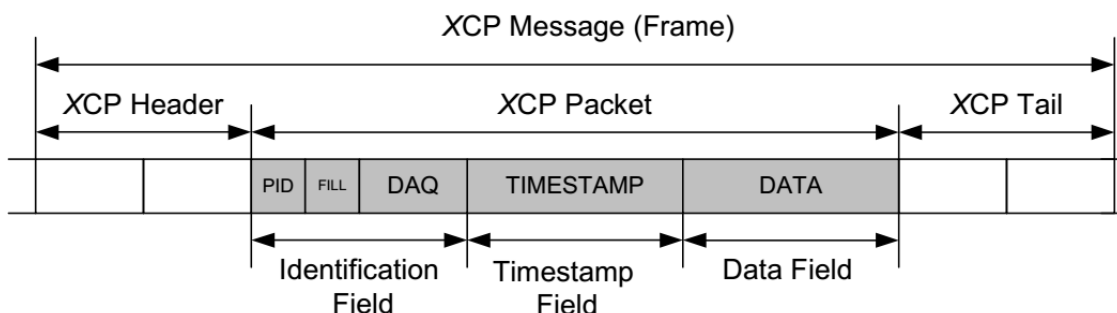
5.4.2 XCP

Tämä aliluku perustuu lähteisiin [39, 40].

Vaikka aliluvussa kappaleessa esitelty UDS-rajapinta tarjoaa paljon toiminnallisuutta, puuttuu siitä peruskalibroinnissa tarvittavia tiettyjä ominaisuuksia, jotka XCP (Universal Calibration Protocol) -protokolla tarjoaa. XCP on ohjaimien kalibrointiin kehitetty protokolla, joka perustuu aikaisempaan vastaavaan CCP-protokollaan. CCP on lyhenne sanoista ”Can Calibration Protocol”, ja se tarjoaa useita määrittelyjä ohjainten kalibroinnissa tarvittaviin funktioihin. Alun perin CCP-protokolla oli tarkoitettu toimivan vain CAN-väylän välityksellä, mutta XCP laajentaa protokollaa siten, että laitteistorajapintana voidaan käyttää CAN-väylän lisäksi myös muita väyliä kuten USB tai FlexRay-väyliä. Lisäksi XCP tarjoaa määrittelyn Ethernetille mahdollistaen datan siirron TCP/IP:n ja UDP/IP:n avulla. Vaikka XCP periytyykin CCP-protokollasta, se ei ole taaksepäin yhteensopiva.

XCP ei ole ISO-standardi, vaan sen on määritellyt ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems). Toisin kuin useat muut standardit, XCP-määrittely ei noudata OSI -mallin mukaista kerrosrakennetta, vaan koostuu protokollasta ja siirtoyhteyksiä kuvaavista dokumenteista. Dokumentaatioon sisältyy myös rajapintamäärittely, joka määrittelee minkälaisella tiedostoformaatilla erilaiset ohjainten muisti-alueet ja mittakanavat määritellään esitettäväksi käyttäjille ja työkaluohjelmistoille. Näin ollen XCP ottaa kantaa myös datan esitykseen, toisin kuin esimerkiksi UDS. Määrittelyn viimeisenä osana on dokumentti, joka esittelee erilaisia käyttötapauksia ja yleisesti hyväksi havaittuja käytäntöjä.

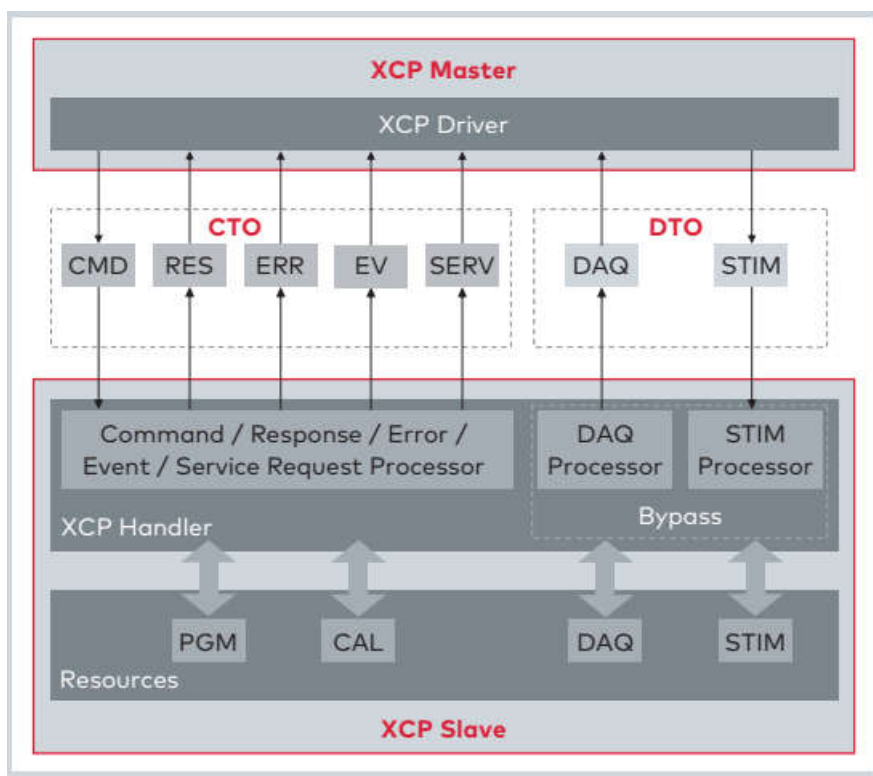
Kommunikaatio XCP:ssä perustuu moni-renki periaatteeseen. Tämä tarkoittaa sitä, että väylällä on yksi isäntä joka ohjaa ja kuuntelee väylällä olevia laitteita. Renki-laitteiden lukumäärää ei ole määritelty, ja se on riippuvainen alemman kerroksen rakenteesta. Käytännössä isäntälaitteena on diagnostiikkaohjelmaa ajava tietokone, ja renkilaitteena yksi tai useampi ohjainlaite.



Kuva 25: XCP-kehysformaatti [40]

XCP-protokollan käyttämä kehysformaatti on esitetty kuvassa 25. Kehyksen alku, ja loppuosa (XCP Header, XCP Tail) ovat riippuvaisia alemman tason siirtoprotokollasta. Esimerkiksi CAN-väylää käytettäessä näitä kehyksen osia ei käytetä. Kehyksen pituus on myös riippuvainen käytetystä siirtoprotokollasta. CAN-väylän tapauksessa käytössä ei ole erillistä siirtoprotokollaa, vaan kehyksen pituus rajoittuu CAN-kehysten maksimipituuteen eli kahdeksaan tavuun. Alku ja loppuosan välistä osaa kutsutaan XCP paketiksi. Paketti jakautuu kolmeen eri osaan eli tunniste-, aika- ja datakenttiin. Tunnistekenttä taas jakautuu paketin tunnisteeseen (Process ID, PID) ja tiedonkeruupaketin tunnisteeseen (Data Acquisition, DAQ). Paketin tunnisteiden tarkoituksena on määritellä paketin tyyppi ja tiedonkeruupaketin tunniste. Tunnistekentässä näkyvä täyttöosa on protokollariippuvainen ja on käytössä silloin, kun alla oleva protokollarakenne edellyttää datan spesifistä ryhmittämistä. Aikatunniste sisältää vapaasti kasvavan rengin laskurin arvon ja tarjoaa mahdollisuuden datan synkronointiin, Tämä kenttä on vapaaehtoinen. Dataosa on täysin riippuvainen paketin tyypistä.

Kuva 26 antaa yleiskuvan XCP-pakettien jakaantumisesta funktioittain ja kulkusuunnitain. Paketit jakautuvat kahteen ylämpään kategoriaan. Komentopaketit (CTO, Command Transfer Object), kuvassa 26 vasemmalla, huolehtivat komentojen ja ohjausdatan



Kuva 26: XCP-pakettien nimet ja suunnat. [39]

välityksestä isännältä rengille, ja datapaketit (DTO, Data Transfer Object) taas huolehtivat tiedonkeruudatan välittämisestä. Kehyksessä esiintyvä aikataunniste sisältyy vain datapaketteihin.

Kummankin pakettityypin tunnistaminen tapahtuu PID-kentän ja paketin kulkusuunnan avulla. Standardi määrittelee tietyt yhden tavun pituiset PID-

numerot riippuen siitä, kulkeeko liikenne isännältä rengille, vai rengiltä isännälle. Ensin mainitussa tapauksessa PID-alue välillä 0 – 191 on määritetty datapaketeiksi ja 192-255 komentopaketeiksi. Tässä tapauksessa komentopakettiin viitataan termillä CMD (Command Packet). Näiden komentopakettien PID-arvot on jaettu toiminnallisuuden mukaan seuraavasti:

1. STD (Standard Commands) Istunnonhallintaan liittyvät toiminnot.
2. CAL (Calibration Commands) Kalibrointiin liittyvät toiminnot.
3. PAG (Page Switching Commands) Ajonaikaiseen muistinhallintaan liittyvät toiminnot.
4. DAQ (Data Aquisition and Stimulation Comands) Tiedonkeruun ja herätteeseen liittyvät toiminnot.
5. PGM (Non-volatile Memory Programming). Haihtumattoman muistin ohjelmointiin liittyvät toiminnot.

Kun liikenteen suunta on rengiltä isännälle, on neljä viimeistä PID-numeroa varattu erilaisiin tilamenettelytilanteisiin ja kaikki muut numerot datapakettien käyttöön. Nämä neljä numeroa määrittelevät komentopaketit seuraavasti:

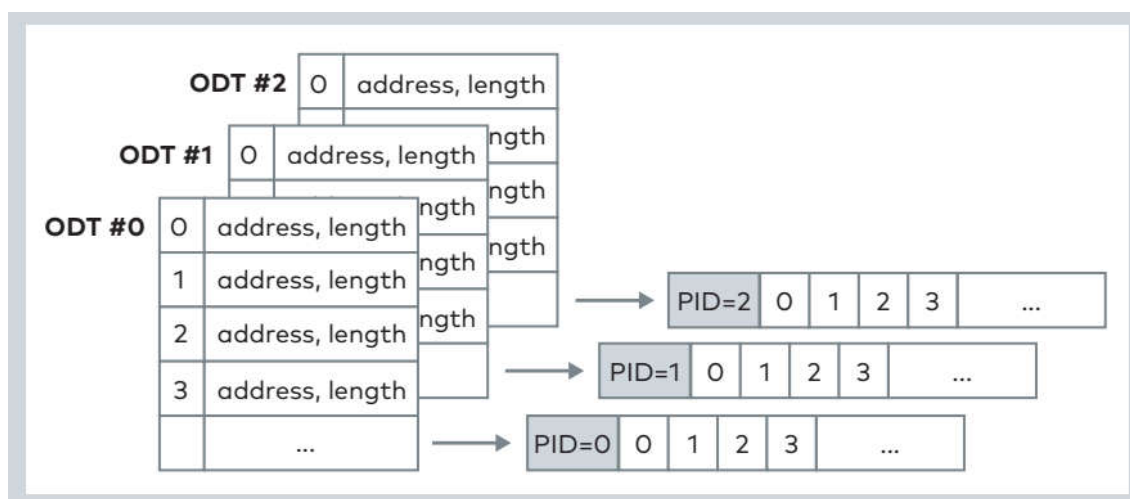
1. RES (Command Response Packet) Positiivinen vastaus CMD-pakettiin.

2. ERR (Error Packet) Negatiivinen vastaus CMD-pakettiin, virhetilanne.
3. EV (Event Packet) Asynkronisen tapahtuman ilmoittaminen.
4. SERV (Service Request Packet) Isännällä suoritettava komento.

Datapakettien alatyyppejä on kaksi, ja kuten komentopaketit, ne riippuvat tiedonkulun suunnasta. Rengiltä isännälle kulkevaa tiedonkeruuliikennettä kutsutaan termillä DAQ (Data Aquisition). Isännältä rengille kulkevaan liikenteeseen viitataan termillä STIM (Synchronous Stimulation Data) ja tämän tyyppin paketteja käytetään ohjaamaan ohjaimen erilaisia toimintoja kuten tiettyjen kalibrointiarvojen ajonaikaisia muutoksia.

Sekä data- että komentopaketin dataosa noudattaa määrittelyn mukaista rakennetta riippuen PID:n arvosta. Esimerkkinä komentopaketin tapauksessa, istunnon avaaminen ohjaimen (rengin) kanssa vaatii aina yhteyspyynnön (CONNECT) lähettämisen. Paketin rakenne on määritetty standardissa siten, että PID:n arvoksi annetaan komento (CONNECT, 0xFF) ja ensimmäiseksi tavuksi haluttu yhteysmuoto. Jos ohjain on oikeassa tilassa, vastaa se positiivisella vastauspaketilla (RES), jonka sisältö on standardissa määritellyn mukainen kyseiselle komennolle.

Datapakettien datan sisältö on täysin konfiguroitavissa ja koostuu suhteellisesta ODT (Object Description Table) -numerosta PID:n paikalla, sekä tähän mahdollisesti liittyvästä absoluuttisesta DAQ-listan numerosta. Absoluuttinen DAQ-listan numero on vapaaehtoinen kenttä. Dataosa koostuu tietyistä määrästä ODT-aulukon merkintöjä. Jokainen ODT-merkintä määrittelee jonkin mitattavan arvon ohjainlaitteen muistissa, ja kyseisen arvon osoitteen. ODT-merkinnät muodostavat siis taulukon joidenkin haluttujen mittausarvojen osoitteista ja pituuksista.



Kuva 27: ODT-aulukkojen kartoittaminen DAQ-viesteihin.[39]

Jokaisen DAQ-viestin lähetys on määritelty tapahtumaan synkronisesti jonkin tapahtuman kanssa. Tällainen tapahtuma voi olla jokin ohjainlaitteessa tietyn väliajoin ajettava prosessi tai ulkoisen signaalin aiheuttaman keskeytys. Näin ollen tietyt DAQ-viestit

voidaan lähettää esimerkiksi kierrossynkronisesti moottoriohjaimen tapauksessa. Toinen vaihtoehto on lähettää listat jokin tietyn väliajoin tapahtuvan prosessin avulla. Näin ohjaimen sisäiset tiedot saadaan synkronoitua johonkin tapahtumaan jonka sisäistä toimintaa halutaan tarkastella. DAQ-viestit jaetaan kolmeen eri tyyppiin. staattiseen, ennaltamääritelyyn ja dynaamiseen. Staattiset viestit määrittelevät halutun määrän prosessisykronisia viestejä, mutta eivät määrittele näiden viestien ODT-aulukoita. Ennalta määritellyn viestin tapauksessa sekä viesti että sen sisältö on määritelty staattisesti. Viimeinen, eli dynaaminen viestirakenne mahdollistaa sekä viestien että sisällön määrittelemisen täysin dynaamisesti. Tämä kartoittaminen on esitetty graafisesti kuvassa 27.

STIM (Stimulus) -paketit noudattavat myös edellä mainittua kuvausta, mutta niiden suunta on isännältä rengille, ja tarkoituksena muuttaa jotain muistissa sijaitsevaa arvoa.

Siirtoprotokolla asettaa XCP:lle tiettyjä vaatimuksia. Esimerkiksi CAN-väylän tapauksessa kehyksen pituus on rajoitettu CAN-kehyksen maksimipituuteen. Tätä pituutta voidaan laajentaa käyttämällä alemman tason kerroksena CAN-FD väylää, joka mahdollistaa pidemmät kehykset. XCP ei määritä käyttöön mitään valmiita osoitteita eikä myöskään näin ollen määrittele yhteensopivuutta minkään muun protokollan kanssa. Aino määrittely liittyy viestien priorisointiin siten, että komento- ja stimulusviesteillä tulisi olla väylällä suurempi prioriteetti kuin muilla viesteillä. Lisäksi määrittelyn mukaan on mahdollista varata yleislähetysosoite, jonka avulla kaikkien CAN-väylällä olevien XCP-renkilaitteiden osoitteet voidaan selvittää.

Siirtokerroksen ollessa Ethernet osoitteina käytetään IP-osoite/porttiparia. Lisäksi XCP-kehyksessä oleva alkuosa sisältää kehyksen pituuden (LEN, Length) ja laskurikentän (CTR, Control). Pituuskenttä ilmoittaa kehyksen kokonaispituuden, ja laskurikentän tarkoitus on mahdollistaa pakettihäviön tunnistaminen. Kehyksen loppuosa jätetään Ethernet-siirtokerrosta käyttäessä tyhjäksi.

Kuten aikaisemmin mainittu, XCP määrittelee myös tavan esittää kaikki tarvittava data viestien määrittelyyn. Toisin sanoen XCP:n käyttöön tarvitaan aina jokin määrittelytiedosto jossa halutut muistiosoitteet ja muut ohjaimen sisäiset tiedot on kerrottu yhdenmukaisesti. Tähän tarkoitukseen on määritetty niin sanottu A2L-tiedosto. A2L-tiedostoformaatti on kuvattu standardissa ASAM MCD 2MC, mutta tiedoston formaatti ja sen sisäinen tarkastelu jää tämän aiheen ulkopuolelle.

5.5 Rajapintasoveltuvuudet

Luvussa 5.3 esitettyjen käyttötilanteiden ja niiden asettamien vaatimusten avulla voidaan valita vaatimukset täyttävä ohjelmisto- ja laitteistorajapinta. Valinnassa on kuitenkin huomioitava myös se, että yhteensopivuus vanhojen protokollien kanssa on säilytettävä mikäli mahdollista. Kokonaan uuden protokollan toteuttaminen järjestelmään, joka tulee lyhyen ajan kuluessa korvautumaan uudella, ei ole taloudellisesti mielekästä. Täl-

lainen tilanne syntyy siitä, että lakivaatimukset edellyttävät jo tällä hetkellä tuotannossa oleviin moottoreihin samoja toiminnallisuuksia kuin tuleviin tuotekehityksessä oleviin moottoreihin, joiden ohjelmistorakenne voidaan suunnitella vapaasti. Toisaalta sama taloudellinen paine kohdistuu moottoriohjaimen lisäksi huoltotyökaluun.

5.5.1 Laitteistorajapinnat

Laitteistorajapintojen kannalta valinta on suhteellinen yksinkertainen, sillä rajapinnat rajoittuvat valitun laitteiston tarjoamiin rajapintoihin. Käytännössä tämä tarkoittaa CAN-, CAN-FD- ja Automotive Ethernet -väyliä. Väylien soveltuvuus eri kohteisiin on harkittava käyttötapauksen mukaan. Normaaliin ajoneuvon sisäiseen kommunikointiin perinteinen CAN-väylä on edelleen yhteensopivin ja vikasietoisin ratkaisu. Myös suurin osa työkaluissa käytetyistä muista ohjausmoduuleista käyttää CAN-väylää.

Väylien teoreettisia maksiminopeuksia laskettaessa on otettava huomioon hyötykuorman suhde koko kehykseen. Esimerkiksi CAN- ja CAN FD -väylien tapauksessa hyötykuorman maksimiosuus on 8 tai 64 tavua. Kokonaiskehys on kuitenkin vastaavasti 16 tai 72 tavua. Näin ollen vaikka lähetysnopeus perinteisellä CAN-väylällä on suuri, on hyötykuorman osuus vain noin puolet väylän kokonaisliikenteestä. Lisäksi CAN FD -väylän tapauksessa vain kehyksen dataosa lähetetään suuremmalla nopeudella. Kehyksen muut osat lähetetään edelleen perinteisen CAN-väylän määräämällä nopeudella. Tällä tavalla voidaan säilyttää yhteensopivuus perinteisen CAN-väylän kanssa. Ongelma pahenee huomattavasti pienillä datamäärillä, jolloin kehyksen muut osat varaavat suurimman osan siirtoajasta. Datan sisältö vaikuttaa myös siirtonopeuteen, sillä jos data sisältää viisi saman polariteetin bittiä peräkkäin, lähetetään väylällä yksi vastakkaisen polariteetin bitti synkronoinnin säilyttämiseksi. Kehysotsikoiden ja hyötykuorman välinen ongelma toistuu myös Ethernet-kehyksessä. TCP/IP-kehyksen otsikko on kokonaisuudessaan 64 tavun pituinen, kun taas datan määrä voi kehyksessä olla 0 ja 1436 tavun välillä.

Teoreettiset nopeudet voidaan arvioida laskemalla hyötykuorman suhde koko kehyksen sisältämään dataan, ja sen jälkeen arvioimalla tämän suhteen avulla todellista nopeutta väylän valittuun bittinopeuteen. Tämä on esitetty taulukossa 5 jossa tämän laskukaavan avulla on laskettu teoreettiset maksiminopeudet kolmelle eri väylälle jokaisen kehyksen minimi ja maksimidatamäärillä. Jokaisen väylän tapauksessa on myös mahdollista lähettää niin sanottuja tyhjiä kehyksiä, mutta ne on tässä jätetty huomiotta. CAN ja CAN FD väylien viesti-ID on 29-bittinen, joka osaltaan pienentää hyötysuhdetta. CAN FD:n todellinen nopeus jää hieman alemmaksi teoreettista maksimia, koska kehysbitit lähetetään databittejä hitaammalla nopeudella.

**Taulukko 5: Lasketut teoreettiset datanopeudet eri väylille, nopeuksille ja datamääri-
le.**

Väylä	Nopeus (Mbittä/s)	Otsikon pituus (bittä)	Hyötykuorma (bittä)	Kehyksen pituus (bittä)	Hyötysuhde (%)	Datanopeus (Mbittä/s)	Datanopeus (Mtavu/s)
CAN	0,25	64	8	72	11,11	0,03	0,00
CAN	0,25	64	64	128	50,00	0,13	0,02
CAN	1	64	8	72	11,11	0,11	0,01
CAN	1	64	64	128	50,00	0,50	0,06
CAN-FD	1	64	8	72	11,11	0,11	0,01
CAN-FD	1	64	512	576	88,89	0,89	0,11
CAN-FD	15	64	8	72	11,11	1,67	0,21
CAN-FD	15	64	512	576	88,89	13,33	1,67
Ethernet (TCP/IP)	100	512	8	520	1,54	1,54	0,19
Ethernet (TCP/IP)	100	512	11488	12000	95,73	95,73	11,97

Vaikka ajoneuvojen sisäisessä kommunikaatiossa CAN-väylä on tällä hetkellä yhteen-
sopivin vaihtoehto tarkastellessa työkoneajoneuvojen muita ohjainmoduuleita, on kui-
tenkin kaksi käyttötapausta, joissa nopeammasta väylästä on huomattavaa hyötyä. Täl-
laisia tapauksia ovat moottoriohjaimen synkroniset mittaukset ja moottoriohjaimen oh-
jelmiston päivitys. Ensin mainitussa ongelma on kaksijakoinen. Useamman synkronisen
mittauksen mittausväli voi olla hyvin lyhyt, jolloin CAN-väylän lähetysnopeus saattaa
muodostua ongelmaksi. Toisaalta tällaisia mittauksia voi olla useita, jolloin niiden sisäl-
tämä datamäärä on suurempi kuin väylän mahdollistamaan kahdeksan tavun hyöty-
kuorma. Jos pelkkä hyötykuorman lisääminen on riittävä toimenpide toiminnan varmis-
tamiseen, voi käyttöön ottaa CAN FD -väylän. Hyötykuorman lisäksi CAN FD nopeut-
taa mittausten latenssia, sillä dataosan lähetys tällä väylällä tapahtuu huomattavasti no-
peammin kuin perinteisellä CAN-väylällä.

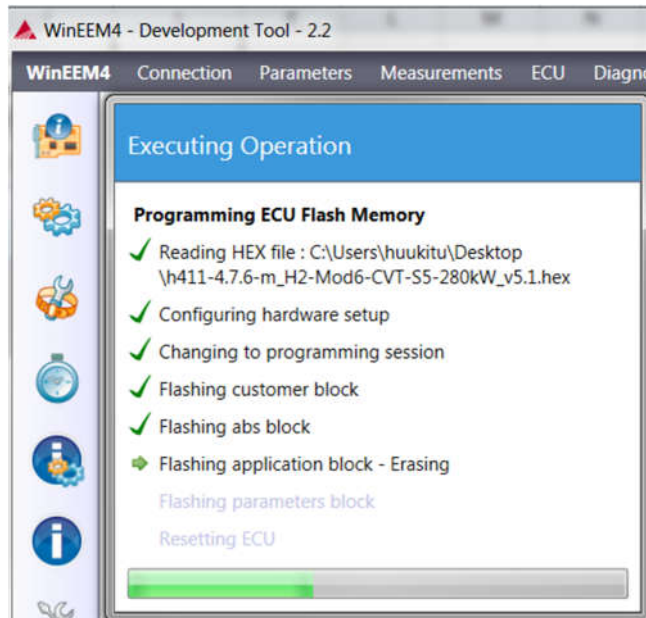
Moottoriohjaimen ohjelmiston päivitys tapahtuu kirjoittamalla ohjaimen muistissa kol-
me eri Flash-muistialuetta. Näiden alueiden yhteenlaskettu koko Bosch EDC17CV41-
moottoriohjaimessa on noin kolme megatavua. [10] Taulukko 6 esittää laskennalliset
teoreettiset ohjelmointiajat väylästä riippuen. Laskennassa ei ole otettu huomioon pro-
tokollaviiveitä eikä Flash-muistiohjaimen latensseja jotka voivat vaikuttaa ohjelmointi-
aikaan.

Taulukko 6: Lasketut teoreettiset ohjelmointiajat sekunneissa.

Väylä	Nopeus (Mbittä/s)	Datanopeus (Mtavu/s)	Ohjelmiston koko (Mtavu)	Teoreettinen ohjelmointiaika (sek)
CAN	0,25	0,02	3,096573	198,18
CAN	1	0,06	3,096573	49,55
CAN-FD	1	0,11	3,096573	27,87
CAN-FD	15	1,67	3,096573	1,86
Ethernet (TCP/IP)	100	11,97	3,096573	0,26

Teoreettisten laskelmien pohjaksi mittaukset suoritettiin nykyiselle kokonpanolle oh-
jelmoimalla moottoriohjain pöytälataussarjan avulla. Tällaisessa tilanteessa moottorioh-
jain on yhdistetty yksinkertaisimmillaan vain johonkin jännitelähteeseen ja väyläadapte-

riin. Väyläkuorman ollessa mahdollisimman pieni voidaan optimaalinen latausnopeus saavuttaa. Mittaukset suoritettiin sekä 250 kbit/s, että 1 Mbit/s väylänopeuksilla. Lataus suoritettiin WinEEM4 työkalulla (kuva 28), ja moottoriohjaimena käytettiin tämän hetken tuotantomootoreiden Bosch EDC17CV41-moottoriohjainta. Ohjelmointiaika mitattiin sekuntikellolla.



Kuva 28: Ohjelmointi WinEEM4-työkalulla.

Taulukko 7 esittää mitatut ohjelmointiajat kummallakin nykyisen laitteiston tukemalla väylänopeudella. Kuten tuloksista voidaan nähdä, on todellinen ohjelmointinopeus huomattavasti hitaampi kuin mitä väylän teoreettinen maksimi.

Taulukko 7: Mitatut ohjelmointiajat sekunneissa ja laskennalliset siirtonopeudet.

Väylä	Nopeus (Mbittiä/s)	Mitatut ohjelmointiaika (sek)	Ohjelmiston koko (Mtavu)	Todellinen nopeus (Mtavu/s)
CAN	0,25	372	3,096573	0,01
CAN	1	180	3,096573	0,02

Mittauksien ja teoreettisten laskelmien ero ei selity siirtoprotokollan eikä flash-muistiohjaimen viiveillä. Ohjelmointilogiikan tarkempi tarkastelu osoitti, että ohjelmointilogiikassa on tarkoituksella tiettyjä viiveitä eri ohjelmointitoimintojen välillä. Näiden viiveiden yhteenlaskettu aika paljasti teoreettisten laskelmien antavan hyvän suunnan nopeuden arvioinneille. Samasta syystä väylän nopeuden nelinkertaistaminen ei vähennä ohjelmointiaikaa samassa suhteessa, koska ohjelmoidut viiveet pysyvät yhtä pitkänä väylänopeudesta huolimatta.

5.5.2 Ohjelmistorajapinnat ja protokollat

Toisin kuin laitteistorajapinnassa, ohjelmistorajapinnan ja protokollan määrittely on monimutkaisempaa lainsäädännöstä johtuen. Työkaluohjelmistojen on kyettävä toimimaan nykyisten moottoriohjaimien kanssa, mutta samalla uudet ja tulevat protokollat on otettava huomioon. Lisäksi protokollat on valittava siten, että ne ovat yhteensopivia myös uusien ja nopeampien väylien kanssa. Sekä UDS että XCP tarjoavat standardit usealle eri fyysisen tason liittynälle ja täyttävät nämä vaatimukset.

UDS-protokolla soveltuu monelta osin tilanteisiin, jossa moottorilta edellytetään diagnostista tietoa. Tällaisia tilanteita ovat kenttäolosuhteissa tapahtuvat vianselvitykset ja suurin osa loppukäyttäjän vaatimista huoltotilanteista. Lisäksi prototyyppiajoneuvokehityksessä UDS tarjoaa lähes kaiken tarvittavan toiminnallisuuden. UDS:n suurin puute on mittakanaviin liittyvät rajoitukset. Moottorikehityksessä on kyettävä lukemaan mitattakuvia ja mitattavia suureita synkronisesti esimerkiksi kierrosnopeuden funktiona. Tällaiseen käyttöön UDS ei tarjoa mitään mekanismia, vaan käyttöön on otettava XCP-protokolla, joka on suunniteltu juuri tähän käyttöön.

Koska UDS-protokolla periytyy KWP2000-protokollasta, on yhtenäisyyksiä jonkin verran. Kuitenkaan kenttien koko ei pyynnöissä ja vastauksissa ole samankokoinen eivätkä kaikki (S)ID-alueääritykset ole samoja, vaan ne on varattu uuteen käyttöön. Toimintojen jakaminen funktionaalisiin yksiköihin on myös aiheuttanut sen, että joidenkin palveluiden (S)ID-numerot ovat muuttuneet, vaikka palveluiden sisältö on pysynyt suurin piirtein samana.

Protokollien samankaltaisuus tuo toisaalta haasteita niiden yhteiskäyttöön samalla väylällä. Vaikka siirtoprotokolla on kummassakin tapauksessa sama, ei palveluiden erottamiseen työkaluohjelmiston kannalta ole mitään standardissa määriteltyä keinoa. Yksinkertaisin tapa kummankin protokollan käyttämiseen samalla väylällä olisi käyttää eri lähde- ja kohdeosoitteita, mutta joissakin tapauksissa muu väylällä oleva liikenne saattaa estää tällaisen tilanteen. Esimerkkinä tästä on tilanne, jossa väylällä olevat laitteet kommunikoivat J1939-protokollan avulla ja työkaluohjelmistot ISO 15765 -protokollan avulla. J1939 määrittelee kyllä kaksi lähdeosoitetta työkaluohjelmistojen käyttöön, mutta niiden käyttö on standardin mukaan sallittu vain saman työkaluohjelmiston eri instansseille käyttämällä yhtä protokollaa. Toisaalta eri protokollien sitominen eri lähdeosoitteisiin ei noudattaisi lakivaatimusta, joka estää valmistajakohtaisten, standardista poikkeavien tekniikkojen käytön diagnostiikan yhteydessä. Näin ollen ei ole mitään yksinkertaista, standardin mukaista tapaa käyttää näitä kahta protokollaa samalla väylällä.

Lain kautta tulevat vaatimukset diagnostiikkaa kohtaan aiheuttavat tilanteen, jossa sekä UDS- että KWP2000-protokollaa on kyettävä tukemaan samanaikaisesti. Tämä koskee nykyistä, tuotannossa olevaa laitteistoa jonka on täytettävä RMI-vaatimukset, mutta jonka on toisaalta kyettävä sopeutumaan myös uusiin protokoliin tulevaisuudessa. Näin

ollen on suunniteltava tapa, jolla työkaluohjelmisto voi jotenkin tunnistaa, kumpaa protokollaa moottorinohjain käyttää. Ainoa lähestymistapa tähän on suunnitella jonkin ohjelmistollinen mekanismi, jonka avulla moottoriohjaimen protokollaversio voidaan lukea luotettavasti tai jopa vaihtaa tarvittaessa. Suunnittelussa on otettava huomioon, että tunnistaminen ei saisi rikkoa voimassa olevia standardeja, vaan sen olisi pohjaututtava joko J1939-standardin mukaiseen viestintään tai vaihtoehtoisesti johonkin viestiin, joka on yhteinen UDS- ja KWP2000-protokollissa.

J1939 määrittelee viestin ”Proprietary Messaging Information” PGN-numerolla 39680. Tämän viestin tarkoituksena on välittää tietoa jostain ohjaimen sisäisestä prosessista. Viestin erikoisuutena on, että se tarjoaa myös ennaltamäärätyn ID -numeron moottoriohjaimen valmistajan mukaan. Viesti sisältää lisäksi metodi-ID:n joka kuvaa ohjaimen tukemaa sisäistä prosessia tai tietoa. Metodi-ID on täysin valmistajakohtaisesti määriteltävissä, joten se voisi sisältää tiedon käytettävästä diagnostiikkaprotokollasta. Näin ollen, jos viestiä ei olisi väylällä, voisi työkaluohjelmisto siirtyä käyttämään vanhaa KWP2000-protokollaa. Jos taas viesti on väylällä saatavissa, voisi sen sisällöstä päätellä, mitä protokolla moottoriohjaimen kanssa kommunikoidaessa tulee käyttää. Valmistajakohtainen ID-numero valmistaa sen, että sekaannusta muiden valmistajien ohjaimien kanssa ei pääse syntymään.

Toinen ohjelmistollinen lähestymistapa on käyttää viestiä joka on yhteinen sekä UDS-, että KWP2000-protokollissa, ja tämän avulla tunnistaa kumpaa protokollaa kommunikointiin tulee käyttää. Tällainen viesti on kummassakin protokollassa samalla tunnistella tunnistella 0x22, mutta UDS-protokolla tapauksessa nimellä ReadDataByIdentifier ja KWP2000-protokollan tapauksessa nimellä ReadDataByCommonIdentifier. Tämän viestin avulla on helppo tarkistaa, kumpaa protokollaa moottorinohjain tukee. Viestin käyttö säilyttäisi myös yhteensopivuuden vanhempien versioiden kanssa, koska vastauksena vanhemmalta versioltä tulee negatiivinen kuittausviesti, jonka vastauskoodina on, että palvelua ei tueta. Uudemmat versiot vastaisivat viestiin positiivisella vastauksella listaten sen protokollan, joka on kyseisessä versiossa tuettu. Kuten J1939-viestiratkaisussa, myös tässä tulevat protokollat on helppo määritellä saman viestin kautta luettavaksi. On huomattava, että vaikka viesti on määriteltä lukemaan jokin arvo ohjaimen muistista, saa itse datan muistialue muuttua, koska viestissä oleva tunniste pysyy samana. Näin ollen työkaluohjelmiston ei tarvitse tietää, missä kohtaa muistia tämä tieto sijaitsee, vaan lukeminen tapahtuu nimenomaan tähän dataan osoittavan tunnisteen avulla. Tämä tekniikka mahdollistaa tiedon hakemisen tulevaisuudessakin ohjelmistoriippumattomalla tavalla.

Kummatkin yllä olevista tavoista varmistaisivat työkaluohjelmiston yhteensopivuuden myös taaksepäin vanhempien moottoriohjaimen ohjelmistoversioiden kanssa ja poistavat tarpeen ylläpitää kahta erillistä työkaluohjelmistoa. Myös uusien protokollien lisääminen on helpompaa lisäämällä uusi ID-numero vastaamaan uutta protokollaa.

6. YHTEENVETO

Työn alussa kävi selväksi, ettei uuden diagnostiikkaprotokollan suunnittelu puhtaalta pöydältä ole ajallisesti eikä työmäärän kannalta järkevää. Standardien lukeminen paljasti myös sen, että diagnostiikalla on moottoriteollisuudessa jo pitkä historia, ja protokollien toiminnallisuuden miettimiseen on käytetty hyvin paljon aikaa. Protokollasuunnittelussa näkyy myös vahvasti kentältä tullut palaute ja kokemus todellisista diagnostiikkatilanteista. Toisaalta yhtä kaiken kattavaa protokollaa ei ole myöskään olemassa, vaan tarpeeksi laaja toiminnallisuus saadaan aikaan vain käyttämällä tiettyjä toimintoja tarjoavia protokollia tiettyihin käyttötilanteisiin. Huoltotyöntekijä joka tekee laitteistolle perusdiagnostiikkaa, ei hyödy mitenkään suuresta määrästä synkronisia mittauksia. Ylimääräinen väyläliikenne voi tietyissä tilanteissa jopa vaikeuttaa ongelman diagnosoimista. Tällaisessa käyttötilanteessa on tärkeämpää, että diagnostinen informaatio, kuten vikakoodit, ovat helposti ja selkeästi käyttäjän saatavilla. Voidaan ajatella, että saatavuus on toisaalta kiinni työkaluohjelmiston esitystavasta, mutta suuri osa diagnostiikkaa tapahtuu myös muiden työkoneissa olevien laitteiden kautta. Näin ollen moottorinohjaimen tarjoaman rajapinnan on oltava käytettävissä myös niiden päätelaitteiden kanssa, joihin moottorivalmistaja ei voi vaikuttaa. Näitä ovat erilaiset näytöt ja ohjainlaitteet työkoneen sisällä ja ulkopuolella.

Tuotekehityksessä tilanne on juuri päinvastainen. Yksinkertainen vikakoodi tai vikailmoitus ei välttämättä tarjoa tarpeeksi tietoa vian paikallistamiseen moottorin tuotekehitysvaiheessa. Itse asiassa tuotekehityksen alkuvaiheessa on täysin mahdollista, että vikatoiminnallisuus joltain uudelta anturilta on täysin kalibroimatta, tai jopa puuttuu kokonaan. Tällaisessa tilanteessa edellytetään nimenomaan suurta määrää synkronisia mittakanavia. Näiden mittatietojen avulla tuotekehitystä tekevä henkilö kykenee päättämään, toimiiko laite oikein kyseisessä tilanteessa. Vikadiagnostiikan kalibroinnissa tämä tieto on myös ehdoton. Vikarajoja asetettaessa raja-arvojen on perustuttava tarkasti mitattuihin tuloksiin.

Kahden edellä mainitun tilanteen välimuoto on prototyyppiajoneuvojen kenttätestaus. Tässä vaiheessa perusdiagnostiikan kalibrointi on jo tehty, mutta voi vaatia ajoneuvokohtaisia säätöjä. Perusdiagnostiikka kykenee tunnistamaan anturiviat ja yleiset tilanteet, mutta jos prototyyppiajoneuvon testauksessa epäillään jonkin diagnostisen toiminnan toimivan väärin, on jälleen palattava tutkimaan asiaa tarkempien mittausten avulla.

Fyysisten liittimien valinta on tämän työn tapauksessa triviaalia, koska se rajoittuu moottorinohjainvalmistajan tarjoamaan liittimeen. Fyysisen rajapinnan valinta sen sijaan riippuu käyttötilanteesta. Ajoneuvojen sisäiseen kommunikaation perinteinen CAN-

väylä on edelleen tarpeeksi nopea ja luotettava. Lisäksi useat työkonelaitteet sisältävät edelleen joitakin moduuleita, jotka ovat olleet käytössä samanlaisina vuodesta toiseen. Tällaiset vanhemman sukupolven moduulit ovat esimerkiksi sähköisiä ohjainlaitteita, jotka ovat edelleen käytössä uudemman sukupolven laitteissa. Ajoneuvo-ohjelmistojen koon kasvaminen asettaa haasteita tuotannolle ja tilanteille, joissa ohjelmiston päivitykseen on tietty aikaraja. Tällaisia tilanteita esiintyy joillakin tuotantolinjoilla, joissa moottoriohjelmisto päivitetään työkonen tuotannon aikana. Jos moottoriohjelmiston päivitys kestää kauemmin kuin sille allokoitu työvaihe, aiheuttaa se viivästymistä tuotantolinjaan. Tähän on kuitenkin olemassa ratkaisu, sillä uusilla ja nopeammilla väylillä ohjelmisto on päivitettävissä muutamassa sekunnissa.

Lakivaatimukset vaativat tiettyihin vuosimalleihin tietyn päästötason moottorin, mutta esimerkiksi ohjaamon elektroniikkaa ei välttämättä voida synkronoida päästövaatimusten kanssa. Tästä aiheutuu se, että uusien ja vanhojen protokollien on kyettävä toimimaan samassa väylässä rinnakkain. Toinen haaste on tuleva RMI -lakivaatimus, joka koskee uusien moottoreiden lisäksi myös nykyisin tuotannossa olevia moottoreita. Koska lakivaatimus edellyttää tietyn protokollaperheen käyttämistä, tarkoittaisi se käytännössä kaikkien tiettyä sukupolvea olevien, jo valmistettujen, moottorien ohjelmistojen päivitystä. Protokollavaihdos aiheuttaa myös sen, että työkaluohjelmistot pitäisi päivittää vastaamaan tätä muutosta. Tilannetta monimutkaistaa se, että käytetyt protokollat vastaavat hyvin paljon toisiaan, eikä niitä voi käyttää samalla väylällä ilman ristiriitoja.

Rajapintamäärittely on siis tehtävä käyttötapauksen mukaan. Ajoneuvon sisäiseen kommunikaatioon perinteinen CAN-väylä ja J1939 on työkonien tapauksessa edelleen paras vaihtoehto edellä mainitut rajoitukset huomioon ottaen. Diagnostiikkaan KWP2000 ja siitä periytyvä UDS tarjoavat kaikki tarvittavat palvelut, joita huoltotehtävissä vaaditaan. XCP taas täydentää UDS -protokollaa vastaamaan vaativampia, tuotekehityksessä tarvittavia mittauksia. Väylävalinta voidaan tässä tapauksessa tehdä käyttötapauksen mukaan. Huoltoon ja perusdiagnostiikkaan riittää CAN-väylä, mutta tuotannossa ja tuotekehityksen mittauksissa CAN FD tai vielä nopeampaa kommunikointia tarvittaessa Automotive-Ethernet voi olla ainoa järkevä ratkaisu. Tästä syystä protokollamäärittely on tehtävä niin, että se on yhteensopiva mahdollisimman monen väylän kanssa.

Ohjelmistolataustesteissä tuli ilmi sellaisia viiveitä, joita ei nopeammalla tiedonsiirrolla voi korjata. Jos protokollavaihdon tarkoituksena on tarjota nopeampi liittyntä jollekin toiminnolle, olisi ehkä syytä ensin tarkistaa, että nykyinen protokolla ja tiedonsiirto on optimoitu parhaalla mahdollisella tavalla.

Rajapintamäärittelyyn ei ole tämän tutkimuksen perusteella olemassa yhtä protokollan ja laitteistorajapinnan yhdistelmää, joka täyttäisi kaikki vaatimukset yksioikoisesti. Tämä johtuu osittain historiallisista protokollista, joita valmistajilla on käytössä, mutta myös moottoreiden erilaisista käyttötilanteista.

Yksilöllisen määrittelyn tekeminen onnistuu kuitenkin erinomaisesti, kun tarpeeksi kattava selvitys valintoihin vaikuttavista reunaehdoista tehdään. Reunaehdot ja niiden selvittäminen liittyvät ensisijaisesti moottorin käyttötilanteisiin, mutta tässä tapauksessa myös niihin historiallisiin valintoihin joita aikaisemmassa kehitysaskeleissa oli tehty. Näiden ehtojen avulla voidaan rajata pois suuri osa yhteensopimattomista protokollista ja näin ollen keskittää tarkempi tutkimus vain sellaisiin protokolliin jotka ovat olennaisia nimenomaan tämän moottorin tapauksessa. Tässä työssä tehty selvitys ja määrittely antavat siis selkeän kuvan siitä, mitä protokollia ja fyysisiä liitäntöjä diagnostiikassa voidaan näiden moottorien yhteydessä hyödyntää. Toisaalta tässä opittua prosessia voisi hyvin soveltaa myös muihin vastaaviin tilanteisiin jossa ollaan siirtymässä uusiin rajapintoihin, ja jossa siirtymäajan vaatimukset on otettava huomioon.

LÄHTEET

- [1] J. Wang, X. Mao, K. Zhu, J. Song, B. Zhuo, An intelligent diagnostic tool for electronically controlled diesel engine, *Mechatronics*, Vol. 19, Iss. 6, 2009, s. 859-867.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415809000890>.
- [2] Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of 14 September 2016 on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery, amending Regulations (EU) No 1024/2012 and (EU) No 167/2013, and amending and repealing Directive 97/68/EC (Text with EEA relevance), 2016. Available:
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32016R1628>.
- [3] J. Peckham, Deere to Employ DPF/SCR to Meet U.S. EPA Tier-4 Final Diesel Limits, *Diesel Fuel News*; Houston, Vol. 16, Iss. 11, 2012, s. 6.
<http://search.proquest.com.libproxy.tut.fi/docview/1525983578/abstract/69026C0D1A0E4B98PQ/1>.
- [4] Off-Highway Emissions Regulations, Cummins Emission solutions, 2014, 4 s.
- [5] Diesel Engine Management, Springer Verlag, Germany, 2014, 489 s.
- [6] Tuotekehityskustannukset, Tuotekehityspäällikkö, Agco Power, Linnavuori, Haastattelu 22.5.2017.
- [7] Sisudiesel 645 Moottori, Korjauskäsikirja, Sisu Diesel Oy, Linnavuori, Nokia, 2002, 80 s.
- [8] 5th Generation AWF Engines, Agco Power, Linnavuori, 2013, 168 s.
- [9] K. Reif, K. Dietsche, Automotive handbook, 5th ed ed. Bosch Gmbh, Karlsruhe, Germany, 2000, 1544 s.
- [10] Agco Power Oy, EEM4F Software Specification, Linnavuori, 2016, 218 s.
- [11] Diesel direct injection - Infineon Technologies, web page. Saatavissa (noudettu 20.5.2017):
<http://www.infineon.com/cms/en/applications/automotive/powertrain/diesel-direct-injection/>.
- [12] EDC17 Software and calibration documentation, Robert Bosch Gmbh, Yrityksen sisäinen dokumentaatio., 2017, 10487 s.
- [13] KWP 2000 Service Specification, Bitwise Oy, 2010, 120 s .

- [14] ISO 14230:1999 - Road vehicles -- Diagnostic systems -- Keyword Protocol 2000, International Organization for Standardization, 1999.
- [15] ASAP2 Tool-Set, web page. Saatavissa (noudettu 25.6.2017): https://vector.com/vi_asap2_toolset_en.html.
- [16] ASAM MCD-2 MC v1.6 Measurement and Calibration Data Specification, ASAM, 2009.
- [17] Selective Catalytic Reduction On-Board Diagnostics: Past and Future Challenges, <http://papers.sae.org/2005-01-3603/>, 2005.
- [18] Salo Tomi, Nopeat Mittaukset Moottorinohjaimessa, Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2006, 97 s.
- [19] Marscholik Christoph, Subke Peter, Road vehicles - Diagnostic communication, 1st ed. Hüthig, Heidelberg, 2008, 337 s.
- [20] REGULATION (EU) No 167/2013 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2013. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0167>.
- [21] EEM3 Software Description version 4, Bitwise Oy.
- [22] Nyman Aarne, EEM-Järjestelmän diagnostiikkaohjelma visual basicilla Tampereen Ammattikorkeakoulu, 2002, 32 s.
- [23] Interface between data terminal equipment and data communication equipment employing serial binary data interchange. Electronic Industries Association, Engineering Dept., Washington, 1969.
- [24] P. Wilson, Chapter 6 - Digital circuits, in: Anonymous (ed.), The Circuit Designer's Companion (Third Edition), Newnes, Oxford, 2012, s. 235-291.
- [25] Interface Circuits for TIE/EIA-232-F, Texas Instruments, Dallas, 2002, 230 s.
- [26] W. Buchanan, 13 - RS-232, in: Anonymous (ed.), Computer Busses, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000, s. 223-246.
- [27] ISO 11898-1:2015 Road vehicles -- Controller area network (CAN), <https://www.iso.org/standard/63648.html>, 2015, 65 s.
- [28] IEEE Std 802.3bv-2017 (Amendment to IEEE Std 802.3-2015 as amended by IEEE 802.3bw-2015, IEEE 802.3by-2016, IEEE 802.3bq-2016, IEEE 802.3bp-2016, IEEE 802.3br-2016, IEEE 802.3bn-2016, IEEE 802.3bz-2016, and IEEE 802-3bu-2016): IEEE Standard for Ethernet A, 2017.
- [29] IEEE IEEE P802.3bw 100BASE-T1 Task Force, <http://www.ieee802.org/3/bw/>.

- [30] Thomas Königseder, Kirsten Matheus, Automotive Ethernet, Cambridge University Press, 2015, 238 s.
- [31] C. Varun, M. Kathires, Automotive Ethernet in On-Board Diagnosis (Over IP) & in-vehicle networking, 2014 International Conference on Embedded Systems (ICES), IEEE, s. 255-260.
- [32] Electrical Requirements and Environmental Conditions for Electrical/Electronic Components, Agco Corporation, Yrityksen sisäinen dokumentaatio, 2008.
- [33] ISO 15765:1999 - Road vehicles - Diagnostics on CAN, in: International Organization for Standardization, International Organization for Standardization, 1999.
- [34] M.D. Natale, H. Zeng, P. Giusto, A. Ghosal, Higher-Level Protocols, Understanding and Using the Controller Area Network Communication Protocol, 2012, s. 181-214. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-0314-2_9.
- [35] SAE J1939, Recommended Practice for a Serial Control and Communications in Vehicle Networks, SAE International, USA, 2013.
- [36] L. Tuunanen, Opas standardisarjan ISO 11783 käyttäjille, MTT Raportti, 2014, s. 22.
- [37] Installation Instructions Stage 4 / Tier 4 Final Engines, Agco Power, 2013.
- [38] COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 1322/2014, 2014. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN-FI/TXT/?uri=CELEX:32014R1322&from=EN>.
- [39] XCP - The Standard Protocol, Vector Informatik GmbH, Ingersheimer Str. 24, 70499 Stuttgart, Germany, 2016.
- [40] ASAM MCD-1 XCP version 1.1.0 The Universal Measurement and Calibration Protocol Family, 2008.
- [41] CAN - ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä, VTT Automaatio, koneautomaatio, 2000.
- [42] CAN FD - The basic idea, CAN CiA, Saatavissa (haettu 24.5.2017): <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-fd/>.
- [43] ISO 14229:2013 - Road vehicles -- Diagnostic systems -- UDS, International Organization for Standardization, 2013.

LIITE 1: STANDARDIEN KUVAUKSET JA OSAT

ISO 14229:2013 – UDS

- Part 1: Application layer,
- Part 2: Session layer services
- Part 3: Unified diagnostic services on CAN implementation (UDSonCAN)
- Part 4: Unified diagnostic services on FlexRay implementation (UDSonFR)
- Part 5: Unified diagnostic services on Internet Protocol implementation (UDSonIP)
- Part 6: Unified diagnostic services on K-Line implementation (UDSonK-Line)

ISO 14230-3:1999 – KWP2000

- Diagnostic communication over K-Line (DoK-Line) - Part 1: Physical layer
- Diagnostic communication over K-Line (DoK-Line) - Part 2: Data link layer
- Diagnostic systems -- Keyword Protocol 2000 - Part 3: Application layer

ISO 15765:1999 – ”KWP2000” on CAN

- Diagnostics on CAN - Part 1: General information
- Diagnostics on CAN - Part 2: Network layer services
- Diagnostics on CAN - Part 3: Application layer services
- Diagnostics on CAN - Part 4: Requirements for emission-related systems

ISO 15765:2004/2011 – UDS on CAN, täydentää 14229-standardia

- Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) -- Part 1: General information and use case definition

ISO 11898 - Road vehicles -- Controller area network (CAN)

- Part 1: Data link layer and physical signaling
- Part 2: High-speed medium access unit
- Part 3: Low-speed, fault-tolerant, medium-dependent interface
- Part 4: Time-triggered communication

SAEJ1939 – Surface vehicle recommended practice

- SAE J1939 - Top Level Document

- SAE J1939-02 - Agricultural and Forestry Off Road Machinery Control and Communication Network
- SAE J1939-13 - Diagnostics Connector
- SAE J1939-14 - Physical Layer, 500Kbps
- SAE J1939-21 - Data Link Layer
- SAE J1939-31 - Network Layer
- SAE J1939-71 - Application Layer
- SAE J1939-73 - Diagnostics Application
- SAE J1939-74 - Application Layer - Configurable Messages
- SAE J1939-75 - Generator Sets and Industrial
- SAE J1939-81 - Network Management
- SAE J1939-82 – Compliance

ASAM MCD-2 MC - Data Model for ECU Measurement and Calibration

ASAM MCD-1 XCP - Universal Measurement and Calibration Protocol